



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS  
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

ESTRUCTURA DE LOS RODALES DE *Polylepis reticulata* DEL  
PARQUE NACIONAL EL CAJAS. ESTADO ACTUAL PARA  
PROYECCIÓN FUTURA EN EL MARCO DEL CAMBIO  
CLIMÁTICO

AUTORA: KARLA ANTONIETA PACHECO LEÓN

TESIS DE GRADO  
PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO  
AMBIENTAL

DIRECTORA: HENNRIETTA HAMPEL, Ph.D.  
TUTOR: CARLOS ALBERTO GRACIA ALONSO, Ph.D.

CUENCA, 02 DE FEBRERO DE 2015



## RESUMEN

La presente investigación tuvo como finalidad conocer la estructura de los rodales de *Polylepis reticulata* del Parque Nacional El Cajas (P.N.C.), para disponer de información precisa sobre el estado actual de estas masas forestales y poder contribuir con antecedentes para el desarrollo de un proyecto futuro en el que se analizarán la ecofisiología de *Polylepis* y las respuestas funcionales ante el cambio climático. Para lo cual, se seleccionaron 6 parcelas permanentes (3800 – 4000 m s.n.m.) en tres sectores diferentes: la Laguna Treadora, Cerro Taquiurco y Bosque San Luis. Se determinaron variables estructurales como la densidad, diámetro a la altura del pecho (DAP), tasas de crecimiento de los árboles, biomasa aérea, contenido y tasas de acumulación de carbono, peso específico foliar, superficie foliar e índice foliar. Además se conocieron las condiciones de autoaclareo. Cuando fue posible estas variables fueron medidas directamente en campo, sin embargo métodos indirectos se adoptaron cuando las técnicas directas eran muy invasivas y/o costosas. Se desarrollaron ecuaciones alométricas con los datos de campo para estimar la biomasa, las tasas de crecimiento, superficie foliar entre otras.

La densidad media global fue 4025 árboles/ha con una biomasa aérea de 102.55 Mg/ha, 50 % de la misma siendo carbono. Los incrementos hallados para *Polylepis* son muy bajos, oscilando entre 0.04 – 0.55 mm/año. Se estimó una producción anual de biomasa aérea en 1.11 Mg/ha. Los resultados muestran que el 75 % del carbono absorbido está destinado a la producción y mantenimiento de las hojas.

**PALABRAS CLAVE:** Densidad, DAP, ecuaciones alométricas, condiciones de autoaclareo, biomasa aérea, carbono, crecimiento, *Polylepis reticulata*.



## ABSTRACT

This research aimed to describe the structure of *Polylepis reticulata* stands in Cajas National Park (P.N.C.), to provide accurate information on the current status of these forests and to contribute a baseline to the development of a future project that will analyze the ecophysiology of *Polylepis* and the functional responses to climate change. Six permanent plots were selected (3800 – 4000 m a.s.l) in three different areas: Toreadora lake, Taquiurco Hill and San Luis Forest. Structural variables such as: density, diameter at breast height (DBH), growth rates of trees, aboveground biomass, content and carbon accumulation rates, Specific Leaf Weight (SLW), Leaf Area (LA) and Leaf Area Index (LAI) were determined. Further, self-thinning law was known. When possible these variables were measured directly in field, however indirect methods were adopted when direct measurement would have been too invasive and/or expensive. Allometric equations were developed from field data to estimate biomass, growth rates, leaf area and others.

Global mean density was 4025 trees/ha with aboveground biomass of 102.55 Mg/ha, 50% of which is carbon. Increases found for *Polylepis* are very slow and ranged from 0.04 to 0.55 mm/year. Annual production was 1.11 Mg/ha. The results show that the 70 % of absorbed carbon is used for the production and maintenance of the leaves.

**KEY WORDS:** Density, DBH, allometric equations, self-thinning law aboveground biomass, carbon, growth, *Polylepis reticulata*.



## CONTENIDO

|   |    |
|---|----|
| 1. INTRODUCCIÓN.....  | 17 |
| 1.1 Preguntas de investigación .....                              | 20 |
| 1.2 Justificación.....  | 21 |
| 1.3.1 <i>Objetivo general</i> .....                               | 22 |
| 1.3.2 <i>Objetivos específicos</i> .....                          | 22 |
| 2. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE.....                           | 23 |
| 2.1 Los ecosistemas forestales.....                               | 23 |
| 2.2 Definición de la estructura de un bosque .....                | 26 |
| 2.2.1 <i>Densidad</i> .....                                       | 26 |
| 2.2.2 <i>Diámetro</i> .....                                       | 26 |
| 2.2.3 <i>El autoaclareo o autotala</i> .....                      | 27 |
| 2.2.4 <i>Crecimiento arbóreo</i> .....                            | 30 |
| 2.3 Definición de la estructura de un árbol.....                  | 31 |
| 2.3.1 <i>Biomasa aérea</i> .....                                  | 31 |
| 2.3.2 <i>Contenido de carbono en la biomasa de un árbol</i> ..... | 36 |
| 2.4 Descripción de la especie objeto de estudio .....             | 36 |
| 2.4.1 <i>El género polylepis</i> .....                            | 36 |
| 2.4.2 <i>Descripción de la especie Polylepis reticulata</i> ..... | 39 |
| 3. MATERIAL Y MÉTODOS.....  | 41 |
| 3.1 Área de estudio.....  | 41 |
| 3.1.1 <i>Ubicación del área de estudio</i> .....                  | 41 |
| 3.1.2 <i>Características del área de estudio</i> .....            | 41 |
| 3.2 Selección de la población y muestra de estudio .....          | 44 |
| 3.2.1 <i>Selección de la población</i> .....                      | 44 |
| 3.2.2 <i>Selección de la muestra</i> .....                        | 46 |
| 3.3 Variables determinadas en campo.....                          | 49 |
| 3.3.1 <i>Densidad (pies/ha)</i> .....                             | 49 |



|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 3.3.2 | Determinación del diámetro a la altura del pecho (DAP).  | 51  |
| 3.3.3 | Medición del espesor de la corteza.  | 51  |
| 3.3.4 | Determinación de las condiciones de autoaclareo.   | 52  |
| 3.4   | Variables determinadas en laboratorio.   | 53  |
| 3.4.1 | Determinación del peso específico foliar.  | 53  |
| 3.4.2 | Determinación del peso seco de la madera.  | 54  |
| 3.4.3 | Determinación del peso seco foliar.  | 56  |
| 3.4.4 | Determinación de las tasas de crecimiento de <i>Polylepis reticulata</i> .                               | 57  |
| 3.5   | Variables estimadas.   | 63  |
| 3.5.1 | Estimación de la biomasa aérea.  | 63  |
| 3.5.2 | Estimación de la biomasa foliar.   | 64  |
| 3.6   | Materiales y equipos empleados en la recolección y procesamiento de los datos.                           | 66  |
| 4.    | RESULTADOS.  | 68  |
| 4.1   | Estructura de los bosques de <i>Polylepis reticulata</i> en el P.N.C.                                    | 68  |
| 4.1.1 | Densidad, diámetro a la altura del pecho (DAP) y área basal.   | 68  |
| 4.1.2 | Condiciones de autoaclareo.  | 73  |
| 4.1.3 | Tasas de crecimiento de <i>Polylepis reticulata</i> .  | 75  |
| 4.2   | Estructura de los árboles de <i>Polylepis reticulata</i> .   | 84  |
| 4.2.1 | Peso específico foliar.  | 85  |
| 4.2.2 | Contenido de humedad en ramas y hojas.   | 86  |
| 4.2.3 | Ecuación alométrica desarrollada para la estimación de la biomasa aérea de <i>Polylepis reticulata</i> . | 87  |
| 4.2.4 | Biomasa foliar estimada.   | 91  |
| 4.3   | Producción de la biomasa aérea.  | 96  |
| 4.4   | Desfronde, descomposición y renovación foliar.   | 97  |
| 4.5   | Existencias y flujos de carbono en los bosques de <i>Polylepis reticulata</i> .                          | 98  |
| 5.    | DISCUSIÓN.   | 101 |
| 5.1   | Densidad, diámetro a la altura del pecho (DAP) y condiciones de autoaclareo.                             | 101 |
| 5.2   | Tasas de crecimiento.  | 102 |
| 5.3   | Contenido de humedad en ramas y hojas.   | 104 |



|  |     |
|--|-----|
| 5.4 Ecuación alométrica desarrollada para la estimación de la biomasa aérea de <i>Polylepis reticulata</i> ..... | 105 |
| 5.5 Existencias y flujos de carbono en los bosques de <i>Polylepis reticulata</i> .....                          | 106 |
| 6. CONCLUSIONES.....   | 108 |
| 7. RECOMENDACIONES.....  | 110 |
| 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....   | 111 |
| ANEXOS.....  | 121 |



## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1.</b> Ley de Yoda. Relación entre la densidad y el diámetro.....  | 28 |
| <b>Figura 2.</b> Árboles de <i>Polylepis reticulata</i> .....  | 39 |
| <b>Figura 3.</b> <i>Polylepis reticulata</i> : a) Hoja compuesta por 5 folíolos, b) Flor y c) Fruto .....            | 40 |
| <b>Figura 4.</b> a) Ubicación del Parque Nacional Cajas en la Provincia del Azuay, b) Parque Nacional Cajas.....     | 42 |
| <b>Figura 5.</b> a) Precipitación y evapotranspiración en el Parque Nacional Cajas, b) Amplitud térmica diaria ..... | 43 |
| <b>Figura 6.</b> Ubicación de los sectores donde se realizó la selección de las parcelas.....                        | 45 |
| <b>Figura 7.</b> Ubicación de las unidades experimentales .....  | 47 |
| <b>Figura 8.</b> Parcela permanente 1 .....  | 48 |
| <b>Figura 9.</b> Árbol etiquetado de <i>Polylepis reticulata</i> perteneciente a la parcela 1....                    | 50 |
| <b>Figura 10.</b> Medición de la corteza en un árbol de <i>Poylepis reticulata</i> .....                             | 52 |
| <b>Figura 11.</b> (a) Muestra de hojas recolectada de <i>Polylepis reticulata</i> recolectada .                      | 54 |
| <b>Figura 12.</b> Corte y pesaje de una rama de <i>Polylepis reticulata</i> .....                                    | 55 |
| <b>Figura 13.</b> Codificación adaptada para el corte de ramas y subramas .....                                      | 56 |
| <b>Figura 14.</b> Extracción de las hojas de una rama de <i>Polylepis reticulata</i> .....                           | 57 |
| <b>Figura 15.</b> Extracción de cores con barrena de Pressler .....  | 58 |
| <b>Figura 16.</b> Disco de madera de <i>P. reticulata</i> observada al estereoscopio .....                           | 58 |
| <b>Figura 17.</b> Muestra recolectada de madera de <i>Polylepis reticulata</i> .....                                 | 59 |
| <b>Figura 18</b> Dendrómetros instalados en el tronco de dos de los árboles muestreados.....                         | 60 |
| <b>Figura 19.</b> Medición del incremento del DAP en árboles con dendrómetros artesanales .....                      | 61 |
| <b>Figura 20.</b> Dendrómetro electrónico instalado en árbol de <i>P. reticulata</i> .....                           | 62 |
| <b>Figura 21.</b> Muestra de disco de un árbol de <i>Polylepis reticulata</i> .....                                  | 65 |
| <b>Figura 22.</b> Histogramas de frecuencia de árboles por clase diamétrica .....                                    | 71 |



|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 23.</b> Grupos de parcelas definidas a partir de la aplicación de la prueba t de student.....                                      | 72 |
| <b>Figura 24.</b> Condiciones de autoaclareo en las 6 unidades de muestreo. ....   | 74 |
| <b>Figura 25.</b> Datos de los dendrómetros electrónicos instalados en los árboles de las parcelas 1 y 2 .....                               | 76 |
| <b>Figura 26.</b> Incremento en espesor e incremento en superficie para los árboles de las parcelas 1 y 2. ....                              | 77 |
| <b>Figura 27.</b> Incremento de los árboles de las parcelas 1 y 2.....   | 78 |
| <b>Figura 28.</b> Correlación negativa entre las variables DAP e incremento anual.....   | 83 |
| <b>Figura 29.</b> Ecuaciones alométricas calculadas para las 6 parcelas experimentales .....   | 88 |
| <b>Figura 30.</b> Gráfico de regresión que permitió la obtención de la ecuación alométrica para la especie <i>Polylepis reticulata</i> ..... | 89 |
| <b>Figura 31.</b> Relación entre las variables DAP y duramen .....   | 93 |
| <b>Figura 32.</b> Relación Hidráulica entre área de albura y superficie foliar.....  | 95 |
| <b>Figura 33.</b> Visión sintética de las existencias y flujos de carbono en <i>P. reticulata</i> .....                                      | 99 |





## ÍNDICE DE CUADROS

|   |    |
|---|----|
| <b>Cuadro 1.</b> Distribución de las especies del género <i>Polylepis</i> existentes en Ecuador .....   | 38 |
| <b>Cuadro 2.</b> Ubicación de las unidades de muestreo .....  | 49 |
| <b>Cuadro 3.</b> Densidad, DAP y área basal por parcela de estudio.....                                 | 69 |
| <b>Cuadro 4.</b> Datos dendrométricos de la parcela 1. ....   | 79 |
| <b>Cuadro 5.</b> Datos dendrométricos de la parcela 2 .....   | 79 |
| <b>Cuadro 6.</b> Datos dendrométricos de la parcela 3 .....   | 80 |
| <b>Cuadro 7.</b> Datos dendrométricos de la parcela 4 .....   | 81 |
| <b>Cuadro 8.</b> Datos dendrométricos de la parcela 5 .....   | 82 |
| <b>Cuadro 9.</b> Datos dendrométricos de la parcela 6 .....   | 82 |
| <b>Cuadro 10.</b> Datos dendrométricos electrónicos.....  | 83 |
| <b>Cuadro 11.</b> Pesos específicos foliares por parcela de muestreo.....                               | 85 |
| <b>Cuadro 12.</b> Porcentaje de agua presente en las ramas y hojas de <i>Polylepis reticulata</i> ..... | 87 |
| <b>Cuadro 13.</b> Biomasa aérea y contenido de carbono por parcela.....                                 | 91 |
| <b>Cuadro 14.</b> Radio de albura y duramen para muestras de <i>Polylepis reticulata</i> ....           | 92 |
| <b>Cuadro 15.</b> Área de albura .....  | 94 |
| <b>Cuadro 16.</b> Área foliar, Biomasa Foliar e índice foliar por parcela de estudio.. ....             | 96 |
| <b>Cuadro 17.</b> Producción de la biomasa aérea.....   | 97 |
| <b>Cuadro 18.</b> Desfronde, descomposición y renovación foliar.....                                    | 98 |



## CLAÚSULA DE DERECHOS DE AUTOR



Universidad de Cuenca  
Clausula de derechos de autor

---

Yo, *Karla Antonieta Pacheco León*, autora de la tesis "Estructura de los rodales de *Polylepis reticulata* del Parque Nacional El Cajas. Estado actual para proyección futura en el marco del cambio climático", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniero Ambiental. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor/a

Cuenca, 02 de Febrero de 2015

Karla Antonieta Pacheco León

C.I: 0302626403



UNIVERSIDAD DE CUENCA

## CLAÚSULA DE PROPIEDAD INTELECTUAL



Universidad de Cuenca  
Clausula de propiedad intelectual

Yo, *Karla Antonieta Pacheco León*, autora de la tesis “Estructura de los rodales de *Polylepis reticulata* del Parque Nacional El Cajas. Estado actual para proyección futura en el marco del cambio climático”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 02 de Febrero de 2015

Karla Antonieta Pacheco León

C.I: 0302626403



La presente investigación fue llevada a cabo simultáneamente con Pinos (2015), quien independientemente realizó la determinación de las variables desfronde, descomposición y renovación foliar en las mismas unidades experimentales en las que ejecute mi trabajo, siendo estos dos aportes parte del Proyecto titulado “Ecología, estructura y función de los rodales de *Polylepis reticulata* en el Parque Nacional El Cajas”, estando a cargo del Dr. Carlos Gracia, profesor Prometeo.



## **DEDICATORIA**

A Dios, quien con su amor infinito, iluminó y guió cada uno de mis pasos a lo largo de toda mi carrera universitaria, hasta el culmine de esta gran etapa de mi vida.

A mis padres Alberto y Nely, quienes con su apoyo incondicional, no permitieron que desista de este sueño hecho hoy realidad.



## **AGRADECIMIENTOS**

Expreso mis sinceros agradecimientos al Laboratorio de Ecología Acuática de la Universidad de Cuenca, de manera especial a la Dra. Henrietta Hampel, quien a más de dirigir esta investigación, facilito el uso de varios equipos y materiales necesarios para el desarrollo del proyecto.

Agradezco a mi tutor el Dr. Carlos Gracia, quien supo asesorar la presente investigación hasta su término y brindarme uno de los regalos más preciados, su experiencia en ecosistemas forestales.

A la administración del Parque Nacional El Cajas, por haber proporcionado los permisos necesarios para llevar a cabo la investigación.

A SENESCYT, por el financiamiento otorgado para la compra de materiales y equipos que fueron imprescindibles para el desarrollo del proyecto.



## LISTA DE ABREVIATURAS

|  |  |
|--|--|
| GtC                                    | Gigatoneladas de Carbono                       |
| gC                                     | Gramos de Carbono                              |
| ha                                     | Hectárea                                       |
| IPCC                                   | Panel Intergubernamental de Cambio Climático   |
| Mg                                     | Megagramos                                     |
| Mg.ha <sup>-1</sup>                    | Megagramos por hectárea                        |
| Mg. ha <sup>-1</sup> . a <sup>-1</sup> | Megagramos por hectárea y por año              |
| m s.n.m                                | Metros sobre el nivel del mar                  |
| m a.l.s                                | meters above sea level                         |
| NOAA                                   | Administración Nacional Oceánica y Atmosférica |
| ppm                                    | Partes por millón                              |
| tnC                                    | Toneladas de Carbono                           |



## CAPÍTULO 1

### 1. INTRODUCCIÓN

Los cambios observados en el sistema climático son evidentes. El incremento de la temperatura del planeta, la agudización de las concentraciones de los gases de efecto invernadero (GEI), las pérdidas de masas de nieve y hielo, entre otros, constituyen efectos palpables en nuestros días, siendo atribuidos en gran parte a las actividades antropogénicas (IPCC, 2013). La mayoría de los ecosistemas podrían verse afectados por estas alteraciones que experimenta nuestro clima, los ecosistemas forestales, un ejemplo de ello. Sin embargo, si logramos comprender el funcionamiento de los mismos, contribuiríamos no solo con su conservación, sino además aportaríamos con medidas de mitigación ante el actual cambio climático (Turpenney *et al.*, 2004; European Comisión, 2009; Harrison *et al.*, 2012), como lo es, el secuestro y captura de CO<sub>2</sub> por los bosques.

La importancia de los ecosistemas forestales radica en la diversidad de especies que albergan, los bienes que proporcionan y los servicios que prestan. Los bosques actúan como hábitat de numerosas especies de flora y fauna, previenen la erosión del suelo al retener parte del agua de lluvia en su follaje, recargan los acuíferos, regulan el ciclo del agua y del carbono, además al absorber CO<sub>2</sub> juegan el rol de valiosos sumideros de carbono (Benjamín & Masera, 2001; Constante, 2013; Pérez & Díaz, 2010). No obstante, la importancia de estudiarlos reside en que estos ecosistemas pueden verse afectados enormemente por los cambios del clima y como consecuencia ocasionar que actividades como la deforestación y el cambio en el uso del suelo reviertan el CO<sub>2</sub> almacenado en los árboles a la atmósfera, de allí lo





esencial de su protección y conservación. Aunque las actividades antrópicas juegan un papel preponderante en la conservación de los bosques, los cambios del clima que ya empiezan a observarse podrían afectar más. Es posible que un aumento en la temperatura o una variación en el rango de precipitaciones acabe con la vida de una especie adaptada a otras circunstancias.

Los bosques de *Polylepis* constituyen uno de los géneros más amenazados a nivel mundial, las actividades humanas son causa principal de ello (Gareca, Fernández, & Stanton, 2010; Kessler, 2006). Su ubicación única en los Andes, así como la cantidad numerosa de bienes y servicios que proveen hace que exista gran interés por este ecosistema. En Ecuador se registran siete especies, representando el 25 % de las especies reportadas en todo el conjunto de los Andes (Mendoza & Cano, 2011); en el Parque Nacional Cajas (P.N.C.) lugar donde se llevó a cabo la presente investigación, estos bosques cubren áreas restringidas, que eventualmente eran más amplias en el pasado (Ulloa, Álvarez, Jorgensen, & Minga, s.f.), *Polylepis reticulata* es una de las especies endémicas de esta zona, la inclinación por esta especie reside en que ha sido muy poco estudiada en el país (Calderón & Lozada, 2010), limitándose las investigaciones realizadas a plantaciones jóvenes en terrenos privados, donde la influencia humana es particularmente más grande. Por lo que conocer la estructura del rodal y específicamente del árbol, permitirá saber cómo manejar eficientemente este bosque.

En el P.N.C., no existen estudios vinculados con la estructura de *Polylepis reticulata*, un inventario y caracterización de estos bosques dado por la densidad (pies/ha), el diámetro de los árboles, condiciones de autoaclareo, índice foliar, tasas de crecimiento, biomasa y las existencias y flujos de carbono suministrarán conocimiento sobre el estado actual de los rodales, el que podría



ser empleado posteriormente para el desarrollo de políticas de manejo y conservación en esta área protegida, así como para conocer la evolución y respuesta de estos ecosistemas frente al cambio climático. Debido a que los bosques ejercen el papel de fuentes y sumideros de carbono resulta imprescindible estimar la cantidad almacenada en ellos, con el fin de comprender los flujos de carbono, su capacidad de retención y su potencial como bosques andinos (Benjamín & Masera, 2001).

En este contexto, en el presente proyecto, se planteó la determinación de la estructura y funcionamiento de estos bosques y un análisis de los diferentes flujos de carbono hasta ahora desconocidos en esta especie, por dos razones básicas: por una parte porque del balance entre las entradas (fotosíntesis) y las salidas (respiración) puede ayudar a comprender la dinámica de *Polylepis* caracterizada, entre otras cosas, por una tasa de crecimiento extraordinariamente lenta. En segundo lugar porque sólo con el conocimiento de estos flujos se puede explorar la posible respuesta fisiológica de la especie a los cambios de temperatura que se empiezan a observar y que son consecuencia del cambio climático que afecta, aunque de manera desigual, a todas las regiones del Planeta.



## 1.1 Preguntas de investigación

- ¿Cuánta biomasa acumulan los bosquetes de *Polylepis reticulata*?
- ¿Qué cantidad de carbono atmosférico secuestran anualmente los bosques de *Polylepis reticulata*?
- ¿Cuál es la biomasa foliar y el índice foliar de estos bosques?
- ¿Cuál es la tasa de acumulación (crecimiento) de dicha biomasa?
- ¿Cuáles son los flujos de carbono implicados en estos rodales?



## 1.2 Justificación

Indudablemente los cambios del clima observables en nuestro ambiente están afectando y afectarán a muchos bosques del mundo (Seidl *et al.*, 2014). Los bosques de alta montaña pueden ser altamente vulnerables a estos rápidos cambios. *Polylepis* uno de los géneros viviendo a mayor altitud en el mundo podría estar en amenaza.

Dado que los rodales de *Polylepis* constituyen importantes ecosistemas forestales de montaña, no solo por los bienes y servicios que proporcionan, sino además por el beneficio ambiental que representan, resulta crucial conocer la fisiología de los mismos para entender como responderán a los cambios del clima que ya se observan. Además, al no disponerse de un conocimiento detallado de la estructura y funcionamiento de esta especie, resultaba pertinente abordar este tipo de investigación, que se convierte en una de las pioneras en Ecuador.

La finalidad que persigue la presente investigación es aportar con información precisa sobre la estructura de los árboles de *Polylepis reticulata*, para así contar con conocimiento sobre el estado actual de estos bosques, así como con las bases suficientes que servirán para orientar su gestión, contribuyendo a su conservación y ayudando a prevenir los efectos adversos que puedan suscitarse con el cambio climático. Además, este estudio contribuirá con una parte de información que se requiere para abordar un proyecto posterior, en el que se realizarán los análisis detallados de la respuesta funcional de *Polylepis* al cambio climático, mediante el uso del modelo GOTILWA +, el cual ha sido creado para explorar las posibles respuestas de los ecosistemas forestales frente a distintos escenarios de cambio climático.



## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 *Objetivo general*

Conocer la estructura y funcionamiento de los rodales de *Polylepis reticulata* del Parque Nacional El Cajas, su estado actual para proyección futura en el marco del Cambio climático.

### 1.3.2 *Objetivos específicos*

- Determinar la densidad de árboles por contaje directo de pies en parcelas permanentes de superficie conocida.
- Conocer las condiciones de autoaclareo presentes en las diferentes plantaciones de la especie.
- Calcular coeficientes de alometría entre distintas variables que relacionan la estructura del árbol.
- Estimar la biomasa aérea y las tasas de crecimiento de *Polylepis reticulata*.
- Determinar el contenido y tasas de acumulación de carbono en diferentes fracciones del árbol.
- Conocer las existencias y flujos de carbono en estos bosques



## CAPÍTULO 2

### 2. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

#### 2.1 Los ecosistemas forestales

Las manchas de árboles naturales o plantados por el ser humano constituyen los bosques (Brown, 1997). Estos cumplen una gran variedad de funciones, entre las cuales se destacan la regulación del ciclo del agua y del carbono, la retención del agua resultante de la precipitación y la absorción de CO<sub>2</sub> de la atmósfera (Constante, 2013), siendo este último rol, la razón por la que se les considera como sumideros naturales de carbono, ya que los bosques acumulan carbono por amplios periodos de tiempo en contraste a las plantas anuales (Acosta, Vargas, Velázquez, & Etchevers, 2002).

Por el papel que desempeñan los bosques, cada vez están recepitando más atención y siendo motivo de gran interés, tanto a nivel nacional como mundial. Por ejemplo, el Programa de Reforestación Forests Absorbing Carbon Dioxide Emission, por sus siglas FACE, es un modelo de las inversiones que realizan los países desarrollados en nuestros Andes ecuatorianos, usando las tierras altas para la siembra de bosques (Fehse *et al.*, 2002).

Debido a la enorme cantidad de CO<sub>2</sub> que se encuentra en la atmósfera y a las grandes cantidades que se siguen liberando, se ha tomado en cuenta el potencial que tienen los bosques para almacenar carbono en su estructura, conformando así luego el follaje, ramas, raíces, troncos, flores y frutos (Díaz *et al.*, 2007; Pérez & Díaz, 2010). Los ecosistemas forestales captan el CO<sub>2</sub> a través del proceso conocido como fotosíntesis, en el cual absorben CO<sub>2</sub> y emiten O<sub>2</sub> (Acosta *et al.*, 2002). El carbono consumido por los árboles es destinado a la producción de diversas materias primas indispensables para el desarrollo y crecimiento del árbol (Benjamín & Masera, 2001).



Sin embargo, si por un lado estos ecosistemas ayudan a paliar el cambio climático, por otro podrían resultar afectados por este suceso. El clima ha sufrido cambios desde mucho tiempo atrás, en los últimos 150 años se ha observado un incremento de 0.6 °C en la temperatura del planeta (Barros, 2006), las altas concentraciones de los GEI en la atmósfera, producidos en su gran mayoría por actividades humanas, ocasionan dicho aumento. Se presume que la influencia antrópica es la causa principal de este cambio desde la mitad del siglo pasado. No obstante las emisiones derivadas de la quema de combustibles fósiles y del cambio del uso del suelo desde la era preindustrial, han arrojado una enorme cantidad de GEI, uno de los más preponderantes el CO<sub>2</sub>, el cual se ha acrecentado en un 40 %. Se considera que 180 GtC originadas por la deforestación y otros cambios en el uso del suelo han sido emitidas (IPCC, 2013).

Las concentraciones de CO<sub>2</sub> en la era preindustrial eran de 270 ppm, en el año 2011 fueron de 391 ppm (IPCC, 2013) y ahora en la actualidad contamos con 395.28 ppm (NOAA, 2014). Una porción de estas emisiones están siendo acumuladas en los océanos y en los ecosistemas terrestres, permaneciendo aproximadamente la mitad en la atmósfera (Barros, 2006). Este cambio en el sistema climático está perturbando el ciclo global del carbono. Se prevé que para el periodo 2016 – 2035 comparada con el periodo 1986 – 2005, la alteración de la temperatura promedio del planeta estará entre 0.3 °C – 0.7 °C (IPCC, 2013), por lo que resulta necesario contar con instrumentos que proporcionen información acerca de la reacción que tendrán los ecosistemas ante este evento (Nadal, Sabaté, & Gracia, 2013).

Mantener el carbono acumulado en la biomasa de los árboles a partir de la conservación y protección de los ecosistemas forestales es una iniciativa para hacer frente al cambio climático, ya que de no ser así, a causa de la pérdida de los bosques se estaría aportando con grandes emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera (Vásquez, Ladd, & Borchard, 2014). Preservar los bosques



mediante un manejo adecuado de ellos, resulta crucial al momento de reflexionar sobre el grandioso número de bienes y servicios que nos suministran.

Existen varias herramientas que permiten simular y prever la evolución que tendrán los ecosistemas forestales ante el actual cambio climático. Se distinguen tres clases de modelos: los empíricos, los modelos basados en procesos y los híbridos que son una mezcla de los dos anteriores (Fontes *et al.*, 2010). La ecofisiología de las masas forestales a ser estudiadas puede ser conocida con el segundo de ellos (Nadal-Sala, Sabaté, & Gracia, 2014).

GOTILWA +, Growth Of Trees Is Limited by Water, por sus siglas en inglés, es un modelo basado en procesos ecofisiológicos, que orienta la gestión y conservación presente y futura de un determinado ecosistema forestal, debido a que permite conocer la tendencia que tendrá un rodal bajo distintos escenarios de cambio climático. Para explorar el comportamiento que experimentará un bosque, es necesario contar con antecedentes del sitio donde se encuentra localizado el rodal y del rodal como tal, información que posteriormente es ingresada en el modelo, por lo que se requiere datos del clima (temperatura, radiación solar, precipitación, velocidad del viento y escasez de presión de vapor), las características fisiológicas de las especies estudiadas (conductancia estomática, fotosíntesis y respiración), la biomasa (aérea y subterránea) calculada a partir de relaciones alométricas, las características del suelo y la estructura de la mancha (Nadal et al., 2013).

Además, este modelo analiza y simula los flujos de carbono y de agua del ecosistema estudiado (Keenan, Garcia, Sabate, & Gracia, 2007). Asimismo cuenta con una herramienta con la que se puede indagar las viabilidades y fragilidades de los bienes y servicios proporcionados por los bosques (Krieger, 2001; Calder, 2007). Adicionalmente representa como responderán los bosques tras haber aplicado un plan de gestión, logrando de esta forma que los





gestores contribuyan a paliar las consecuencias del actual cambio climático sobre los ambientes más propensos, mediante el desarrollo de estrategias de manejo (Nadal *et al.*, 2013).

## **2.2 Definición de la estructura de un bosque**

### *2.2.1 Densidad.*

El número de árboles por hectárea (pies/ha) define la densidad de un rodal. La densidad de un bosque es una variable que ayuda a revelar algunas particularidades propias de un bosque, tales como sus tasas de crecimiento y mortalidad, su proximidad o lejanía del autoaclareo e indica si la biomasa existente en el bosque es baja o alta (Muller, Rodríguez, & Gajardo, 2013). A medida que los árboles crecen, independientemente de la especie de que se trate, consumen más agua, nutrientes y luz, lo que se traduce en un aumento de la biomasa y en una reducción de la densidad. Esto quiere decir que se puede tener muchos individuos de tamaño pequeño o pocos individuos de gran tamaño (Gracia, s.f.).

### *2.2.2 Diámetro.*

Constituye un parámetro del árbol fácilmente medible, que permite calcular variables como el área basal, el volumen del tronco, la biomasa aérea, el incremento radial, entre otras (Brown, 1997). En varios estudios el diámetro ha



sido muy útil para el desarrollo de ecuaciones alométricas (Acosta *et al.*, 2002; Díaz *et al.*, 2007; Hernández & Castellanos, 2006; Vásquez *et al.*, 2014), siendo la variable más usada en la explicación de la estructura forestal (Husch, Beers, & Kershaw, 2003). Es conocido como el Diámetro a la Altura del Pecho (DAP) dado que su medición debe ser realizada a 1.30 metros desde la base del árbol. Además, es muy recomendado en el desarrollo de ecuaciones alométricas para estimación de la biomasa aérea, ya que posee mayor exactitud (Segura & Kanninen, 2005).

### 2.2.3 *El autoaclareo o autotala.*

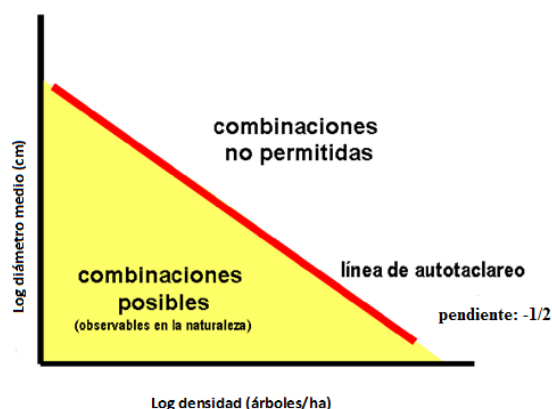
En bosques con gran cantidad de árboles, durante la etapa de crecimiento, se producen condiciones de competencia intraespecífica, en la que los árboles compiten por sobrevivir, lo que hace que el crecimiento individual sea más lento. Los árboles más frágiles, que por lo general, son susceptibles de plagas y enfermedades, tienden a morir (Gracia, s.f.). Como resultado de dicha mortalidad, el espacio que queda posiblemente será ocupado por nuevos individuos y estos al requerir recursos para su crecimiento, provocarán en el bosque una nueva competencia, que dará lugar a una disminución en la cantidad de árboles existentes por unidad de área (Muller *et al.*, 2013). Este proceso es conocido como autoaclareo o autotala, y se da manteniendo una relación entre la biomasa de los individuos y la densidad, generándose con esto un límite que es imposible de superar, llamado línea de autoaclareo, línea de autotala o ley de Yoda, último nombre debido a Yoda, quien formalizó este proceso en 1963 (Gracia, s.f.).

El agua, la luz y los nutrientes son los componentes que definen el crecimiento de un rodal, cuando la competencia intraespecífica acontece, la asignación de

los recursos se ve afectada. Por lo tanto al momento de gestionar un rodal, es primordial saber cuáles son los requerimientos y disponibilidades de los recursos en el bosque, para luego llevar a cabo las cortas necesarias que concederán el equilibrio al rodal, brindando la posibilidad de contar con menos árboles pero de más calidad en términos de productividad, o con árboles de mayor vigor en términos de conservación (Muller *et al.*, 2013).

La pendiente de la ley de Yoda o línea de autoaclareo tiene distintos valores en función de cómo se representa. Así, si se relaciona el logaritmo del diámetro medio de los árboles versus el logaritmo de la densidad, la pendiente tendrá un valor de  $-1/2$  (Gracia, s.f.), como puede observarse en la figura 1:

**Figura 1.** Ley de Yoda. Relación entre la densidad y el diámetro



**Fuente:** (Gracia, s.f.)

**2.2.3.1 Ecuaciones de la ley de Yoda.** La ley de Yoda, relaciona el número de árboles existentes en una superficie determinada con su biomasa (Gracia, s.f.). A continuación se presentan ecuaciones que vinculan estas variables:



- *Ecuación que revela el espacio que ocupa una especie cualquiera.*

$$A = \alpha * DAP^2 \quad (1)$$

Donde:

A= Espacio ocupado por una especie cualquiera

$\alpha$ = Constante

DAP= Diámetro a la altura del pecho

Dado que la densidad de árboles es inversamente proporcional al espacio que ocupa cada árbol (Gracia, s.f.), Entonces:

$$D = \frac{1}{A} = \frac{1}{\alpha} * DAP^{-2} \quad (2)$$

Donde:

D= densidad

A= Espacio ocupado por una especie cualquiera

DAP= Diámetro a la altura del pecho



- *Ecuación que expone la Biomasa de los individuos.*

$$B = \beta * DAP^3 \quad (3)$$

Donde:

B= Biomasa

$\beta$ = constante

DAP= Diámetro a la altura del pecho.

#### 2.2.4 Crecimiento arbóreo.

El incremento diamétrico define el crecimiento de un árbol (Manokaran & Swaine, 1994), el cual está influenciado por factores del clima y del suelo propios del área de estudio (Mora, Ramirez, & Torres, 2009). La dendrometría es la ciencia encargada de estudiar este fenómeno, planteándose como objetivos investigar la edad de los árboles y sus tasas de crecimiento (Constante, 2013). Las tasas de crecimiento de una determinada especie permiten explicar la dinámica forestal (Botkin, 1993).

En diversas investigaciones se ha encontrado que las tasas de crecimiento de los árboles están en función de la edad, tamaño, especie y características climáticas del sitio (Hernández & Castellanos, 2006). La edad ha sido reflejada en la obtención de tasas de crecimiento negativas, que según Lamprecht (1986), Carey *et al.* (1994) y Husch *et al.* (2003) pueden ser debidas a la etapa



senil en la que se encontraban algunos árboles, aunque también recalcan que otros factores como la disponibilidad de agua pueden estar relacionados.

## 2.3 Definición de la estructura de un árbol

### 2.3.1 Biomasa aérea.

Es la cantidad total de materia orgánica viva aérea proporcionada por las hojas, ramas, subramas, tronco y corteza. La biomasa aérea se manifiesta como el peso seco en toneladas o megagramos por unidad de superficie y constituye la más grande contribución de biomasa de todo el árbol (Brown, 1997; Garzuglia & Saket, 2003). Es elemental resaltar que la biomasa viva del tronco de un árbol es una porción de la albura que está en función del tamaño del individuo (Nadal *et al.*, 2013), siendo en espesor más pequeña en individuos adultos que en jóvenes, puesto que lo que sobra del tronco es madera ya formada.

*2.3.1.1 Métodos para estimar la biomasa aérea de un bosque.* La cantidad de carbono almacenado en un bosque, sus tasas de acumulación, los flujos existentes, así como su influencia en el ciclo global del carbono, constituye información importante al momento de conocer el estado actual de un determinado rodal, la cual puede ser obtenida a partir de la estimación de la productividad de un bosque en términos de biomasa.

La biomasa aérea de un bosque es una de las variables que puede ser estimada a partir de una serie de métodos conocidos y aplicados en estudios



similares (Acosta *et al.*, 2002; Calderón & Lozada, 2010; Díaz *et al.*, 2007; Riofrío, Herrero de Aza, Grijalva, & Bravo, 2013) y tiene la capacidad de suministrar información sobre los cambios que pueden ocurrir en un bosque. La estimación correcta de la biomasa forestal es de crucial importancia ya que nos permite conocer el contenido de carbono fijado en una determinada superficie de árboles y en función de esto manejar adecuadamente una reserva de bosques (Bastienne, 2001).

Los métodos comúnmente utilizados en la estimación de la biomasa son el método directo y el método indirecto (Bastienne, 2001).

- *Método directo.* Es conocido como método destructivo, ya que implica el desmonte de varios individuos. Este método tiene la desventaja de emplear mayor tiempo de trabajo, mayores costos y mayor esfuerzo físico (Montès, Gauquelin, Badri, Bertaudière, & Zaoui, 2000; Zianis & Mencuccini, 2004). Consiste en talar los árboles, trocearlos y pesarlos directamente en la zona de estudio, para obtener el peso fresco, y posteriormente secarlo para obtener el peso seco (Bastienne, 2001). Este procedimiento es muy exacto en cuanto a determinación de la biomasa aérea (Calderón & Lozada, 2010).
- *Método indirecto.* También llamado método no destructivo, debido a que permite estimar la biomasa aérea de un rodal, cortando y pesando una cantidad definida de árboles (Fehse *et al.*, 2002), para luego generar ecuaciones desarrolladas con datos obtenidos en inventarios forestales tales como el volumen del fuste o el DAP, facilitando extrapolar la información a toda la población de estudio (Bastienne, 2001; Pérez & Díaz, 2010).

Estas ecuaciones reciben el nombre de ecuaciones alométricas, las mismas que están basadas en gráficos de regresión, en los cuales se relaciona por



ejemplo el peso seco (biomasa) y superficie foliar que son variables de difícil medición con el DAP, la altura y el área basal que son más fáciles de medir; con el propósito de usar las variables de fácil medición para la estimación de las variables de compleja medición (Acosta *et al.*, 2002; Díaz *et al.*, 2007).

La forma de la ecuación alométrica usualmente manejada en el análisis de regresión es de la forma:

$$Y = b * X^k \quad (4)$$

Donde:

Y= Biomasa aérea

X= DAP

b y k= parámetros estimados

Expresada en su forma logarítmica de la siguiente manera:

$$\ln Y = \ln b + k * \ln X \quad (5)$$

- *Estudios relacionados en los que ha sido aplicado el desarrollo de ecuaciones alométricas.* Desde hace varias décadas, la estimación de la





biomasa de los bosques ha venido siendo realizada. Brown y Lugo (1982) estimaron la biomasa de bosques tropicales desde pisos altitudinales bajos hasta bosques montanos. Un año más tarde Olson *et al.* (1983) crearon un mapa que incluía la biomasa de los ecosistemas forestales de diferentes pisos altitudinales.

En Oaxaca, México se estimó la biomasa aérea de seis especies forestales del bosque mesófilo de montaña y bosque de encino; se usó el DAP como variable para intentar desarrollar una ecuación alométrica que pueda ser usada en las seis especies, pero esto no fue posible, por lo que se asociaron en dos grupos. Sin embargo los modelos alométricos arrojaron valores de  $r^2 > 0.97$  (Acosta *et al.*, 2002).

De igual forma, en las Reservas Biológicas de Cachalú y Encenillo en Colombia, con el propósito de conocer la biomasa y contenido de carbono de estas plantaciones mediante muestreo indirecto, se estudiaron bosques de *Quercus humboldtii* y *Weinmannia tomentosa*, por ser las especies más predominantes en estas áreas. Se desarrollaron modelos alométricos en función del DAP. Los resultados encontrados por esta investigación son: para el primer bosque biomasa fustal en promedio 103,217 tn/ha y para el segundo bosque 113,036 tn/ha, para ambos bosques se observa un mayor aporte en biomasa por el componente fustal (Pérez & Díaz, 2010).

En bosques naturales de Bolivia, se estimó la biomasa, de un inventario de 600 mil árboles de 74 registros forestales. Encontrándose valores de biomasa entre 97 y 171 tn/ha, y de carbono almacenado entre 36 y 114 tnC/ha (Dauber, Terán, & Guzmán, 1992). Asimismo, en Perú, se estimó la biomasa aérea, subterránea y biomasa del suelo y se calculó el contenido de carbono en un bosque de *Polylepis incana*; se extrajeron 10 árboles y se realizó una ecuación alométrica con un  $r^2$  de 0.73, en la que la biomasa fue la variable dependiente. Para deducir el contenido de carbono se admitió



que era un 50 % de la biomasa para la parte aérea y un 45 % para las raíces; en este estudio se encontró que el suelo tiene el mayor porcentaje de carbono almacenado, ocupando la biomasa aérea el segundo lugar (Vásquez *et al.*, 2014).

En nuestro país han sido pocos los estudios que han tenido como finalidad estimar la biomasa de los bosques de *Polylepis*. Tal es el caso de la investigación llevada a cabo por Calderon & Loor (2010), en la Provincia de Pichincha, sector Pintag y en la Provincia de Tungurahua, sector Pulahuín, zonas ubicadas en la región andina de Ecuador. En este estudio se determinó la Biomasa y contenido de carbono tomando en cuenta dos especies en siete plantaciones forestales, las cuales tenían edades comprendidas entre los 2 y 17 años para la especie de *Polylepis incana* y entre 2 y 8 años para *Polylepis reticulata*. La investigación buscaba desarrollar modelos alométricos para cuantificar el carbono acumulado en estas reservas y así poder contar con un inventario forestal para este tipo de árboles.

Se calcularon valores de biomasa aérea y subterránea para un total de 104 árboles, obteniéndose con esto relaciones de Biomasa aérea/Biomasa subterránea superiores a la unidad. Además, se logró medir el contenido de carbono, teniendo como resultados: para la especie *Polylepis incana* 0,0879 tn/ha; 0,0281 tn/ha; 10,89 tn/ha y 20, 55 tn/ha para plantaciones de 2, 4, 8 y 17 años de edad respectivamente y para *Polylepis reticulata* 0,00869 tn/ha; 0,0592 tn/ha y 9,18 tn/ha para edades de 2, 4 y 8 años respectivamente.

En cuanto al contenido de humedad en la madera, se encontró para todas las plantaciones valores por encima del 50 %. En general, los datos obtenidos en esta investigación muestran alta confiabilidad, ya que el valor de  $r^2$  tanto para *Polylepis incana* y *Polylepis reticulata* es muy próximo a la unidad (Calderón & Lozada, 2010).



### 2.3.2 *Contenido de carbono en la biomasa de un árbol.*

El potencial de los bosques como reservorios de carbono y como pieza elemental en el ciclo global del carbono, ha sido considerado muy relevante en las últimas décadas, no solo por su capacidad para capturar CO<sub>2</sub>, sino por la devolución que puede ser realizada a la atmósfera con la pérdida de estos ecosistemas. Con el fin de conocer los almacenes de carbono en distintos ecosistemas forestales, varios estudios han enfocado sus propósitos en calcular el contenido de carbono a partir del valor de biomasa estimado, multiplicando la cantidad de biomasa existente en el bosque por un factor que está entre 0.45 y 0.55, valores que resultan de investigaciones realizadas en torno al tema, encontrándose que el almacén de carbono en la biomasa de distintas especies está alrededor del 50 %. Así por ejemplo: Barranco (2002) y Herrera (2003) usaron un valor de 0.55; Fragoso (2003) y Zamora (2003) emplearon 0.45; Calderón y Lozada (2010) utilizaron un valor de 0.50.

## 2.4 Descripción de la especie objeto de estudio

### 2.4.1 *El género polylepis.*

Los bosques de *Polylepis* se encuentran ampliamente distribuidos en los ecosistemas andinos, constituyendo uno de los ecosistemas más vulnerables en el mundo. Estos han experimentado una serie de cambios en su estructura a lo largo de su existencia, las especies presentan pubescencia en las hojas, cortezas más gruesas, menor número de folíolos y menor cantidad de flores; todo esto como consecuencia de adaptaciones a las condiciones climáticas



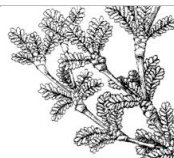





propias de los Andes, caracterizadas por variaciones extremas de temperatura entre el día y la noche (Constante, 2013; Kessler, 2006). *Polylepis* corresponde a la tribu Sanguisorbeae de la familia Rosaceae, tribu que cuenta con 14 géneros, de los cuales 4 incluyendo al género *Polylepis* están distribuidos en América del Sur (Pérez de Paz, 2004), a altitudes comprendidas entre los 2800 – 4300 m s.n.m., por lo que se piensa que es el género más alto que ocurre en el mundo (Simpson, 1979).

Los bosques de *Polylepis* son hábitats de muchas especies de flora y fauna, así como fundamental fuente de recursos para las poblaciones aledañas a estos ecosistemas (Kessler, 2006). Debido a que *Polylepis* está ubicada a grandes altitudes en los Andes, se encuentra expuesta a extensas variaciones de temperatura durante el día y la noche, lo que se traduce en situaciones de estrés para la planta. Sin embargo, la presencia de una gruesa corteza entre otras características, hacen que este género muestre una amplia adaptación frente a estos cambios. (Goldstein et al. 1994, Körner 1999; Hoch & Körner 2005).

Los árboles de este género presentan forma nudosa y retorcida (Fehse et al., 2002), pudiendo localizarse desde zonas muy húmedas hasta sitios secos (Mendoza & Cano, 2011). Su función como reguladores y suministradores de agua en periodos secos es considerada por muchos investigadores (Fjeldsa, 2002; Fjeldsa & Kessler, 1996; Kessler 2002). A pesar de todas las ventajas y beneficios que nos brindan estos bosques, poco estudio ha sido llevado a cabo, quedando restringido a algunas especies del género (Fehse et al., 2002; Gareca, Fernández, & Stanton, 2010; Vásquez et al., 2014). En nuestro país se registran 7 especies del género *Polylepis*: *P. pauta*, *P. lanuginosa*, *P. weberbaueri*, *P. incana*, *P. microphylla*, *P. serícea* y *P. reticulata* (Kessler, 2006; Mendoza & Cano, 2011), con una distribución a lo largo de toda la cordillera de los Andes. El cuadro 1., muestra las especies existentes por provincia:

**Cuadro 1.** Distribución de las especies del género *Polylepis* existentes en Ecuador

| Especie                      | Distribución   | Altitud<br>(m s.n.m.) | Ilustración de la<br>rama   |
|------------------------------|--|-----------------------|---|
| <i>Polylepis pauta</i>       | Carchi, Cotopaxi,<br>Imbabura, Napo,<br>Pichincha  | 3800-4200             |    |
| <i>Polylepis lanuginosa</i>  | Azuay, Bolivar,<br>Cañar, Chimborazo   | 2800-3250             |    |
| <i>Polylepis weberbaueri</i> | Azuay, Cañar   | 3500-4100             |    |
| <i>Polylepis incana</i>      | Azuay, Bolivar,<br>Carchi, Chimborazo,<br>Cotopaxi, Imbabura,<br>Loja, Napo,<br>Pichincha,<br>Tunguragua | 2700-4300             |  |
| <i>Polylepis seríceea</i>    | Azuay, Cañar,<br>Carchi, Chimborazo,<br>Cotopaxi, Imbabura,<br>El Oro, Loja, Napo,<br>Pichincha          | 3500-4140             |  |
| <i>Polylepis microphylla</i> | Chimborazo   | 3500-4100             | Ilustración no<br>disponible  |
| <i>Polylepis reticulata</i>  | Azuay, Cañar,<br>Carchi, Chimborazo,<br>Cotopaxi, Imbabura,<br>Loja, Pichincha,<br>Tunguragua            | 2750-4300             |  |

**Fuente:** Elaboración propia con base en (Calderón & Lozada, 2010; Simpson, 1979)

#### 2.4.2 Descripción de la especie *Polylepis reticulata*.

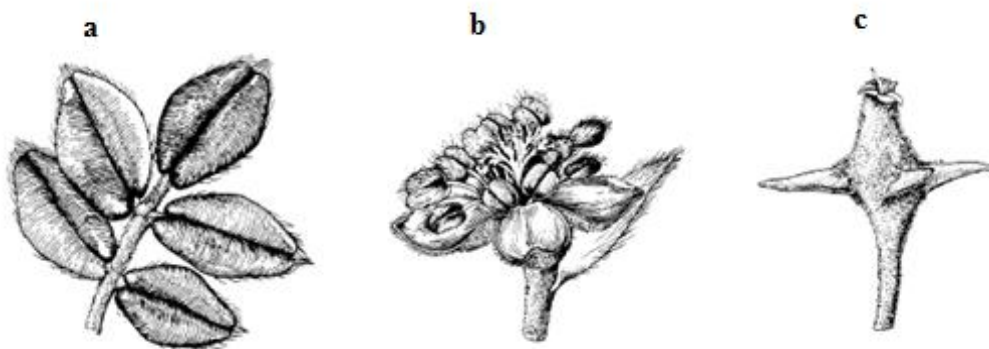
*Polylepis reticulata* más conocida como quinua, quinar o yagual, es una especie de árboles, caracterizada por presentar un tronco retorcido con varias ramificaciones, que en algunos de los casos se originan desde la base. La corteza tiene un color café-anaranjado y en forma de láminas desprendibles (de aquí su nombre, *poly*= muchas y *lepis*= escamas), lo que le ayuda a la planta a resistir las fuertes condiciones de altura (Figura 2) (Calderón & Lozada, 2010). Su altura está comprendida entre 4-8 m, las hojas son imparipinnadas y se encuentran aglomeradas al final de las ramas, están compuestas por 5 o 6 folíolos que llegan hasta los 2.5 cm de largo, planos en el haz y cubiertos por vellos en el envés (Figura 3. a) (Simpson, 1979; Ulloa *et al.*, s.f.).

**Figura 2.** Árboles de *Polylepis reticulata*



Las flores de *Polylepis reticulata* (Figura 3. b) presentan un color verdoso, formando racimos suspendidos de una longitud de hasta 8 cm de largo, no tienen corola, ni nectario, su diámetro está alrededor de 0.6 y 0.7 cm. El fruto es seco drupáceo, compuesto por espinas allanadas y desiguales, con un ancho 0.2 - 0.8 cm abarcando las espinas y un largo entre 0.3 - 0.9 cm (Figura 3. c) (Calderón & Lozada, 2010; Simpson, 1979; Ulloa *et al.*, s.f.).

**Figura 3.** *Polylepis reticulata*: a) Hoja compuesta por 5 folíolos, b) Flor y c) Fruto



**Fuente:** (Simpson, 1979)



## CAPÍTULO 3

### 3. MATERIAL Y MÉTODOS

#### 3.1 Área de estudio

##### *3.1.1 Ubicación del área de estudio.*

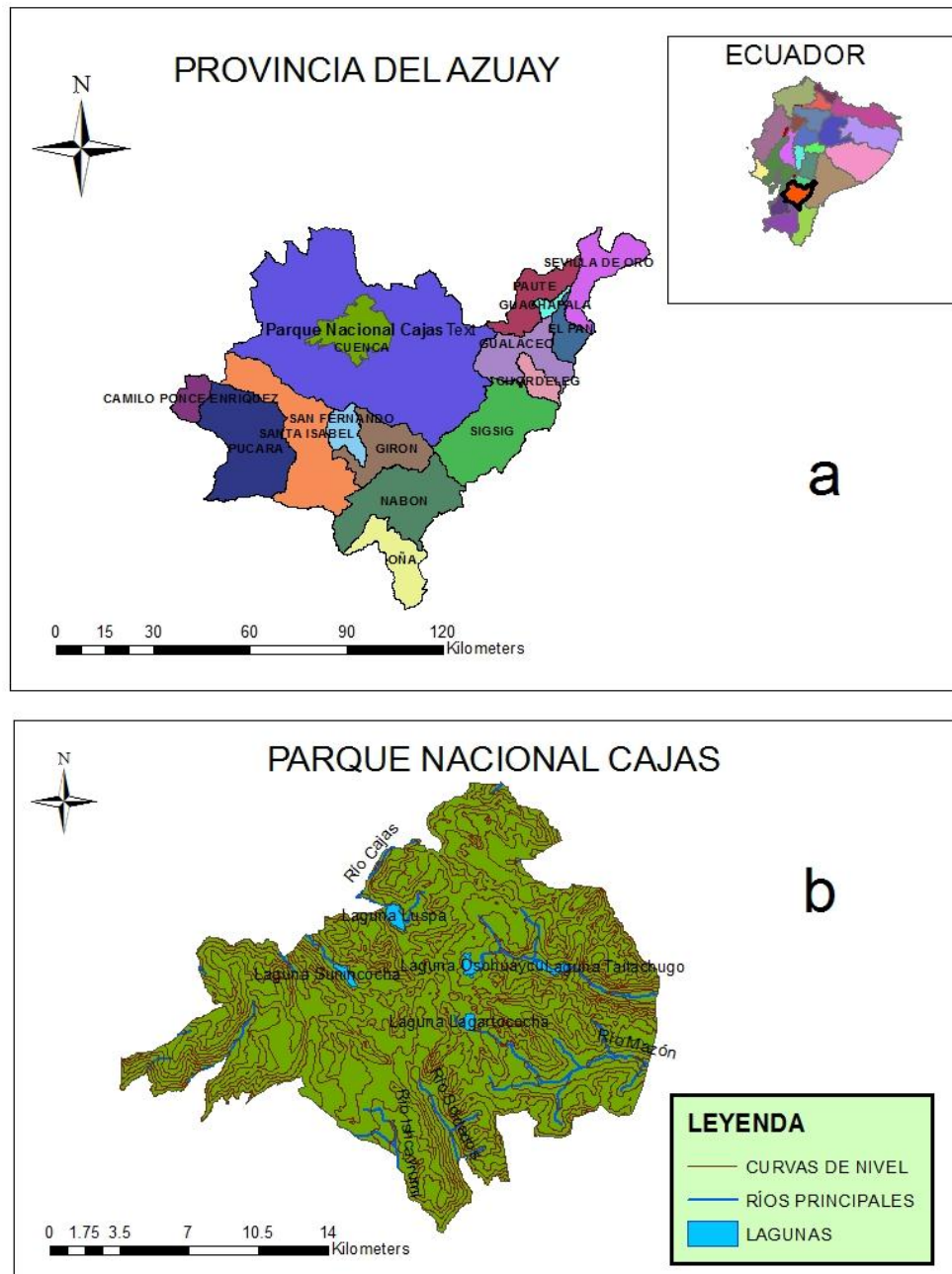
La presente investigación se llevó a cabo desde el mes de Febrero hasta el mes de Diciembre del año 2014, abarcando un periodo de 10 meses, en el P.N.C., Provincia del Azuay, el cual se encuentra situado a 33 km al noroccidente de la ciudad de Cuenca, abarcando un área de 28 544 hectáreas (Figura 4, a y b). Fue declarado como Parque Nacional dentro del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP) el 5 de Noviembre de 1996. Existen dos carreteras de acceso al Parque: la vías Cuenca – Molleturo - Naranjal y Cuenca – Soldados - Angas hacia el norte y sur respectivamente (Ulloa et al., s.f.).

##### *3.1.2 Características del área de estudio.*

El rango altitudinal en el P.N.C. va desde los 3150 m s.n.m. en Llaviuco hasta los 4450 m s.n.m. en el cerro Arquitectos. Posee un clima relativamente frío, derivándose de allí su nombre, el que proviene de la palabra Kichwa *Kaxas* que significa frío. Cuenta con 235 lagunas que tienen origen glaciar. Su temperatura está comprendida entre los -2 °C y los 18°C, con una precipitación medio anual de 1200 mm, no existe una marcada estacionalidad en el sitio (figura 5, a y b).

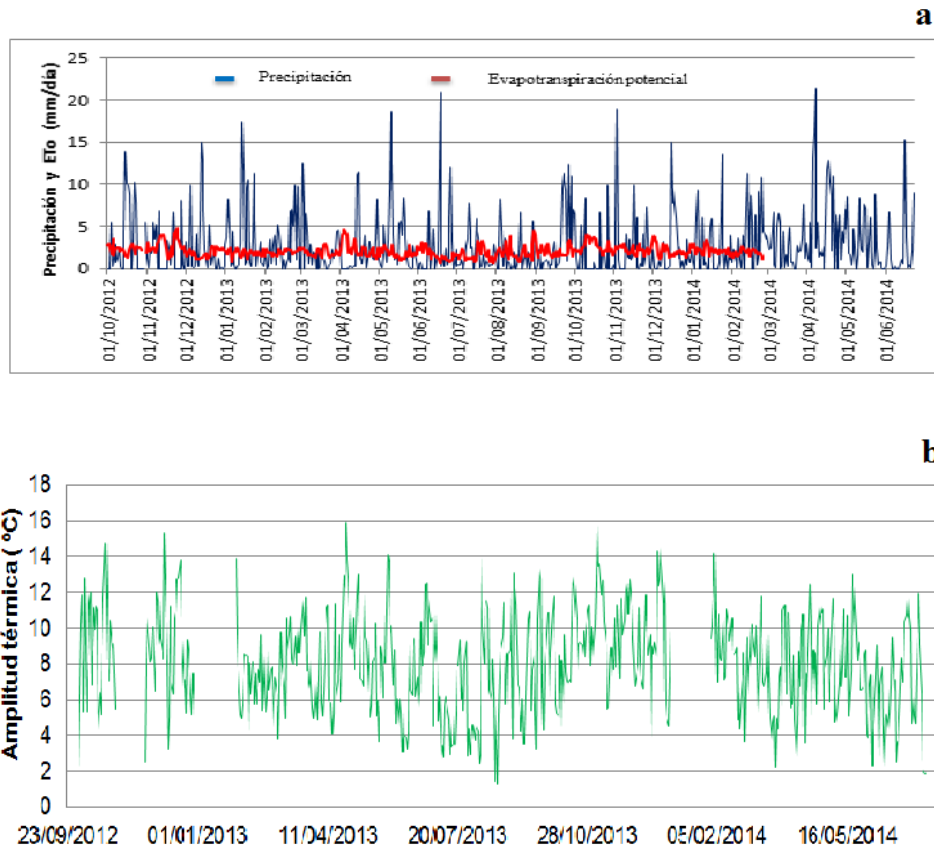


**Figura 4.** a) Ubicación del Parque Nacional Cajas en la Provincia del Azuay, b) Parque Nacional Cajas



**Fuente:** Elaboración Propia

**Figura 5.** a) Precipitación y evapotranspiración en el Parque Nacional Cajas, b) Amplitud térmica diaria



**Fuente:** Centro de Hidrología y Clima del Departamento de Recursos Hídricos y Ciencias Ambientales, 2014

El P.N.C. está conformado por formaciones vegetales tales como el Bosque Húmedo Montano Bajo (bhMB), Bosque Muy Húmedo Montano (bmHM), el páramo, páramo herbáceo, páramo de almohadillas, el bosque alto andino, bosque nublado, bosque de *Polylepis* y el herbazal lacustre (“Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Cuenca,” 2014).

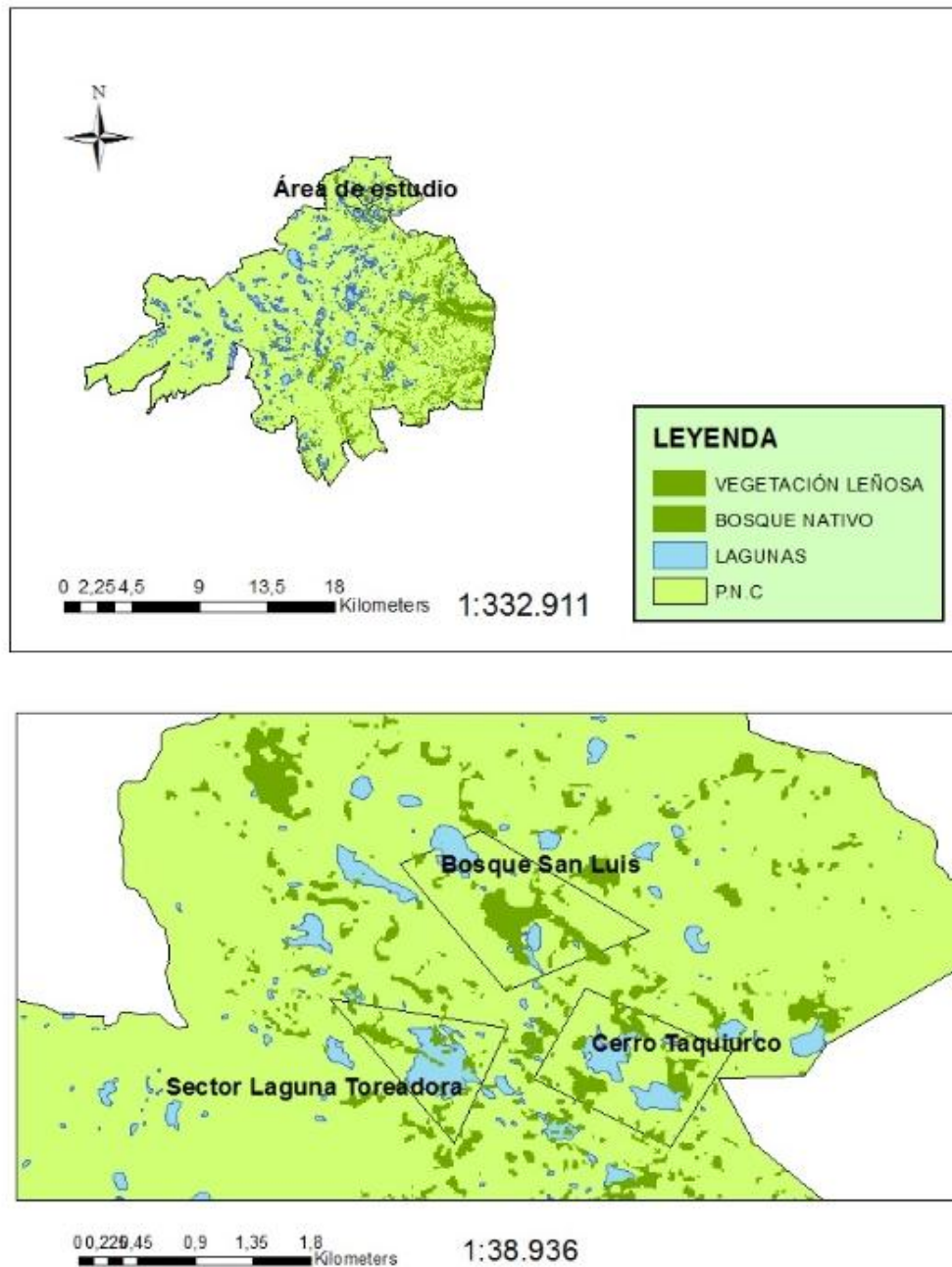


## 3.2 Selección de la población y muestra de estudio

### 3.2.1 Selección de la población.

El P.N.C. alberga varias especies del género *Polylepis*, sin embargo, la predominante en el área es la especie *Polylepis reticulata*, la misma que se encuentran distribuida a lo largo de todo el parque, formando parches de bosques propagados alrededor de las lagunas. Para la elección del tamaño de la población de estudio, se realizaron 2 recorridos por los sectores de la laguna Toreadora y los cerros San Luis y Taquiurco, que son sitios a los que se puede llegar fácilmente, ya que son accesibles y requieren menor tiempo de traslado. Se escogieron 5 rodales de *Polylepis reticulata* de extensión considerable, repartidos 2 en el tramo de la laguna Toreadora, 2 en el cerro San Luis y 2 en el Cerro Taquiurco, como se puede apreciar en la Figura 6.

**Figura 6.** Ubicación de los sectores donde se realizó la selección de las parcelas



**Fuente:** Elaboración propia



### 3.2.2 Selección de la muestra.

En cada uno de los rodales de *Polylepis reticulata* previamente seleccionados, se marcaron parcelas permanentes de una superficie de 10 m x 10 m, tamaño que ha sido seleccionado en base al análisis de la curva área-variable.

El análisis de la curva área-variable a analizar explica el porqué de la selección del tamaño de la muestra. En este caso se adoptan como variables a analizar la densidad de árboles/ha, el área basal ( $\text{m}^2/\text{ha}$ ) entre otras. Se comienza por analizar una parcela muy pequeña (por ejemplo: 1m X 1m) y se determina el valor de la variable, luego se agranda el tamaño de la parcela y se vuelve a determinar el valor de la variable, y este proceso se repite sucesivamente (Gracia, Selección del tamaño de la muestra en bosques, 2014).

Normalmente el valor de la variable y la variabilidad asociada al mismo (varianza, error estándar, etc.) aumentan asintóticamente al aumentar el tamaño de la parcela hasta llegar a un valor en el que por mucho que se aumente el tamaño de la muestra ya no crece el valor de la variable, el mismo que permanece fluctuando alrededor de un valor medio. Cuando se alcanza este valor de tamaño muestral, se considera que es el área óptima de muestreo. En rodales forestales como los de *Polylepis* este tamaño acostumbra a estar comprendido entre los 6m X 6m y 9m X 9m, por lo que generalmente en los estudios de campo se opta por un valor estándar de 10 m X 10m, el cual confiere un margen de seguridad y evita el tener que aplicar el proceso de determinación de la curva área-variable a analizar (Gracia, Selección del tamaño de la muestra en bosques, 2014). Las parcelas de estudio pueden visualizarse en la figura 7.

**Figura 7.** Ubicación de las unidades experimentales



**Fuente:** Elaboración propia

#### *3.2.2.1 Marcaje de parcelas permanentes.*

Se marcaron 6 parcelas permanentes de superficie conocida ( $100 \text{ m}^2$ ), tomando en cuenta dos criterios: a) la existencia de cantidad suficiente de árboles dentro de la parcela y b) la evasión del efecto de borde. El marcaje de las parcelas se realizó mediante incrustación de piquetas de madera en cuatro extremos del área medida, sobre las que se hizo pasar una cuerda fina, la misma que permitió limitar la superficie señalada.



**Figura 8.** Parcela permanente 1



*3.2.2.2 Ubicación de las parcelas de muestreo.* Las parcelas permanentes estuvieron localizadas a altitudes comprendidas entre los 3735 m s.n.m. y 3930 m s.n.m., no hubo diferencia significativa en sus coordenadas de ubicación, puesto que todas las unidades experimentales se encontraban situadas dentro del P.N.C, sin embargo, su orientación y pendiente fueron distintas. El cuadro 2 resume la localización y características topográficas de las mismas.

**Cuadro 2.** Ubicación de las unidades de muestreo

| Parcela | Lugar de ubicación      | Latitud (Sur) | Longitud (oeste) | Altitud (m.s.n.m) | Pendiente (°) | Orientación (°) |
|---------|-------------------------|---------------|------------------|-------------------|---------------|-----------------|
| 1       | Cerro Taquiurco         | 2°46'42"      | 79°12'24"        | 3811              | 20            | 105             |
| 2       | Cerro Taquiurco         | 2°46'01"      | 79°12'35"        | 3841              | 25            | 30              |
| 3       | Sector Laguna Toreadora | 2°46'58"      | 79°13'24"        | 3930              | 25            | 340             |
| 4       | Sector Laguna Toreadora | 2°46'42"      | 79°13'35"        | 3890              | 0             | 110             |
| 5       | Cerro San Luis          | 2°46'21"      | 79°13'11"        | 3833              | 30            | 45              |
| 6       | Cerro San Luis          | 2°46'27"      | 79°13'13"        | 3735              | 3             | 85              |

### 3.3. Variables determinadas en campo

#### 3.3.1 Densidad (pies/ha).

*3.3.1.1 Etiquetaje de árboles en las parcelas permanentes.* En cada parcela se llevaron a cabo censos de todos los individuos presentes. Todos los árboles vivos, así como aquellas ramificaciones o bifurcaciones originadas a una altura



menor a 1 metro de un mismo árbol, correspondientes a la superficie de  $100\text{ m}^2$  de cada parcela permanente, fueron rotulados usando etiquetas de plástico colgadas de hilo de nylon. Cada etiqueta fue numerada, usando cifras correspondientes a números que van del 1 hasta la cantidad de árboles existentes en la parcela.

El número de pies por hectárea existente en los bosques de *Polylepis reticulata* se calculó mediante observación y conteo directo de individuos vivos. Se consideró la superficie de muestreo establecida en  $100\text{ m}^2$  y se extrapoló los datos a un área de  $10\,000\text{ m}^2$  que es la correspondiente a 1 hectárea.

**Figura 9.** Árbol etiquetado de *Polylepis reticulata* perteneciente a la parcela 1





### 3.3.2 Determinación del diámetro a la altura del pecho (DAP).

A una altura estándar de 1.30 m sobre el nivel del suelo, se midió el perímetro de todos los árboles de *P. reticulata* de cada parcela, empleando una cinta métrica forestal. Los datos obtenidos sirvieron para determinar el DAP, el cual se calculó asumiendo la forma del tronco de los árboles como la de un cilindro, para lo que se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Perímetro} = 2 * \pi * r \quad (6)$$

Donde:

r = radio del cilindro

La ecuación (6), expresada en función del DAP, es de la siguiente forma:

$$\text{DAP} = \text{Perímetro} / \pi \quad (7)$$

### 3.3.3 Medición del espesor de la corteza.

La corteza de los árboles se apreció manipulando un calibrador de corteza, el mismo que contaba con una escala graduada en mm. Antes de proceder con

las mediciones, el instrumento fue encerado, en esta condición se determinó el espesor de la misma en dos puntos diametralmente opuestos del tronco. El valor medio de ambas medidas se adoptó como el valor del espesor de la corteza utilizado en los cálculos posteriores. Este procedimiento puede observarse en la figura 10.

**Figura 10.** Medición de la corteza en un árbol de *Poylepis reticulata*



#### 3.3.4 Determinación de las condiciones de autoaclareo.

Las variables densidad y diámetro medio de cada parcela anteriormente explicados, fueron relacionados en un gráfico de dispersión, en el que los puntos de estas dos variables se ajustaron a la línea de autoaclareo con una pendiente correspondiente a  $-1/2$ .



### 3.4 Variables determinadas en laboratorio

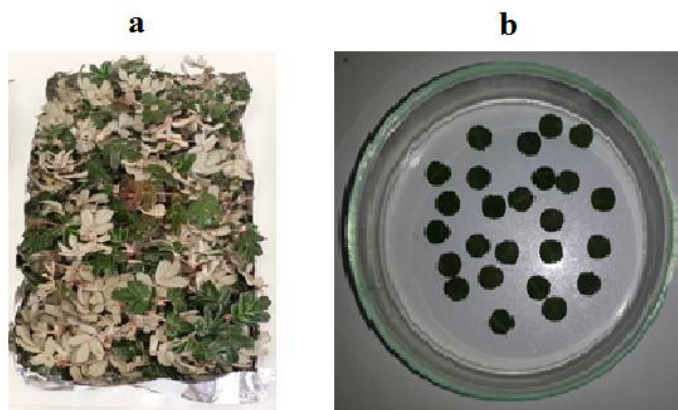
#### 3.4.1 *Determinación del peso específico foliar.*

El peso específico foliar nos permite determinar la superficie foliar que soporta cada rama y subrama muestreada en el campo, a partir de la biomasa (peso seco) de las hojas de cada rama. Para lo cual, de cada una de las 6 parcelas permanentes, se recolectaron 2 o 3 muestras de hojas (Figura 11, a), evitando en lo posible tomar hojas con alguna enfermedad o formación atípica. Posteriormente los ejemplares fueron transportados al laboratorio en fundas plásticas con cierre automático.

Se obtuvieron 25 discos de cada muestra de hojas con la ayuda de una perforadora, la que poseía un agujero de diámetro conocido (6 mm). La superficie de los 25 discos corresponde a un valor de  $706.85 \text{ mm}^2$ .

Los discos fueron colocados en cajas Petri previamente numeradas (Figura 11, b), para luego ser pesados en fresco y tras haber permanecido durante 24 horas en la estufa (temperatura:  $85^\circ\text{C}$ , trampilla: 60 %) pesados en seco.

**Figura 11.** (a) Muestra de hojas de *Polylepis reticulata* recolectada, (b) Discos de hojas preparados y colocados en cajas Petri.

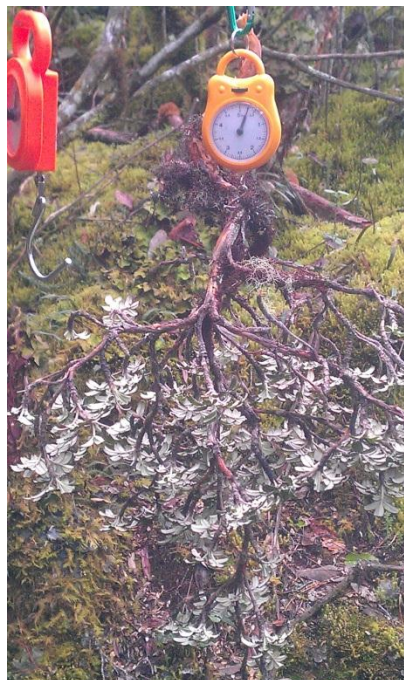


Los datos del peso seco de hojas obtenidos para cada parcela se relacionaron con la superficie de los 25 discos conocida, obteniendo como resultado el peso específico foliar en unidades de  $\text{g/m}^2$ .

#### 3.4.2 Determinación del peso seco de la madera.

Se cortaron 2 o 3 ramas principales por parcela. Debido al gran tamaño de las ramas, se trocearon, pesaron y midieron directamente en campo (Figura 12), con el uso de dos dinamómetros en unidades de gramos y kilogramos, un pie de rey y una cinta métrica forestal. Cada subrama cortada fue numerada siguiendo el esquema 13., obteniéndose medidas del peso fresco de las ramas, diámetro basal y longitud. Además, se cortaron fracciones de madera, las mismas que fueron trasladadas al laboratorio en fundas plásticas con cierre hermético.

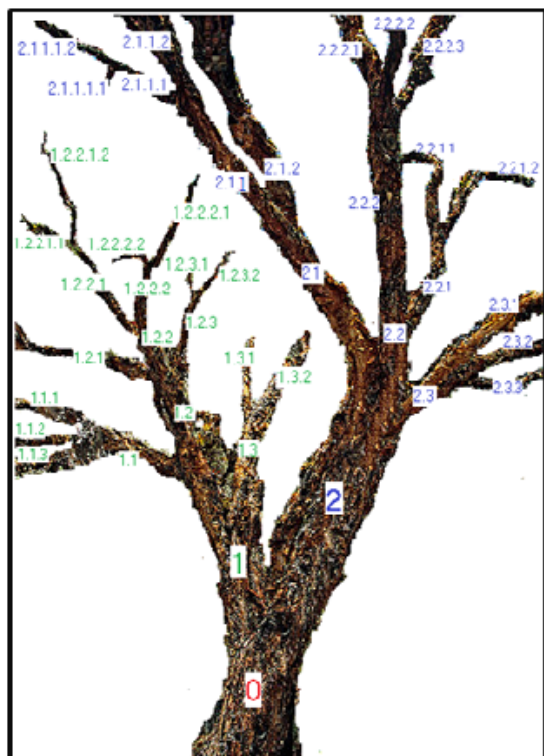
**Figura 12.** Corte y pesaje de una rama de *Polylepis reticulata*



En el laboratorio, las muestras de madera fueron pesadas en fresco, y luego de permanecer en la estufa por varias horas hasta conseguir peso constante (temperatura: 85°C, trampilla: 60 %) se obtuvieron los valores del peso seco. Con estos datos se produjeron relaciones de peso seco/peso fresco de cada fracción, que relacionadas con los valores del peso fresco de todas las ramas y subramas dieron como resultado el peso seco de las ramas.



**Figura 13.** Codificación adaptada para el corte de ramas y subramas



### Numeración aplicada al corte de ramas y subramas

o para el tronco

1 y 2 para ramas principales

1.1, 1.2, 1.3, 2.1, 2.2 y 2.3 para las ramas secundarias que se bifurcan de las ramas principales 1 y 2

1.1.1, 1.2.1, 1.3.1, 2.2.1 y 2.2.2 y todos comprendidos de tres dígitos para las ramas terciarias

Los números de cuatro dígitos en adelante serán para las siguientes subramas

**Fuente:** Elaboración propia

#### 3.4.3 Determinación del peso seco foliar.

Se extrajeron todas las hojas de las subramas cortadas y pesadas en el punto anterior, estas fueron colocadas en fundas de papel, etiquetadas y llevadas al laboratorio (Figura 14) Cuando las muestras de hojas llegaron al laboratorio, se determinó el peso fresco de las hojas de cada subrama y se colocó en la estufa por un tiempo de 24 horas (temperatura: 85°C, trampilla: 60 %), concluido este lapso se pesó las distintas muestras de hojas en seco.

**Figura 14.** Extracción de las hojas de una rama de *Polylepis reticulata*



#### 3.4.4 Determinación de las tasas de crecimiento de *Polylepis reticulata*.

La determinación del ritmo al que crecen los árboles de *P. reticulata*, presentó algunas dificultades, que estuvieron relacionadas con la ausencia de estacionalidad en el área de estudio, razón por la que se emplearon 3 métodos.

**3.4.4.1 Extracción de cores de madera del tronco.** Inicialmente se extrajeron cores o tarugos con barrena de Pressler de 4 mm de diámetro (Figura 15.), con el propósito de observar anillos de crecimiento, que pudieran datar la edad de los árboles. Dado que se extrajo tejido xilemático formado principalmente por células muertas, el proceso no afectó al árbol. No obstante y como medida de seguridad, la perforación fue tapada con silicona provista de desinfectante, con el fin de eliminar acceso a los escolídidos u otros posibles insectos que pudiesen instalarse posteriormente y controlar las posibles esporas de hongos o bacterias que eventualmente pudieran afectar a los tejidos del árbol.



**Figura 15.** Extracción de cores con barrena de Pressler



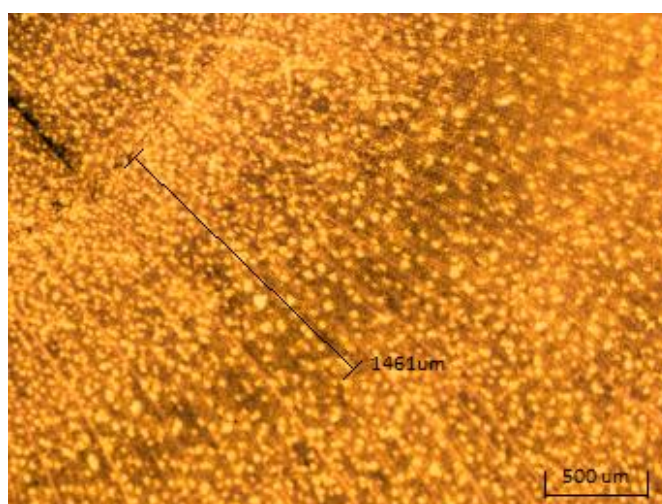
Los cores extraídos fueron pulidos y observados al estereoscopio, pero debido a que los anillos de crecimiento encontrados fueron poco visibles, y no permitieron deducir si eran anuales o no, se optó por un segundo método, aplicado por Gareca, Fernandez y Stanton (2010), que consistió en cortar discos de madera, aunque la visualización fue mejor, tampoco se logró deducir la clase de anillos que forman el crecimiento de *Polylepis* (Figura 16).

**Figura 16.** Disco de madera de *P. reticulata* observada al estereoscopio



Sin embargo, se pudo observar que *P. reticulata* tiene una madera con estructura de poro difuso en la que los vasos se hallan distribuidos irregularmente en toda su sección (Figura 17).

**Figura 17.** Muestra de madera de *Polylepis reticulata* en la que se observa una estructura con poro difuso



**3.4.4.2 Utilización de dendrómetros artesanales y electrónicos.** Debido a que en el área de estudio no existe una estacionalidad marcada...ver figura 5..., y por las dificultades constatadas para la correcta interpretación de los anillos de crecimiento, se optó por instalar dendrómetros que permitieran la determinación de los valores de crecimiento, los cuales aportan con datos más confiables que los reportados por el uso de anillos de crecimiento que no son adecuados para estas zonas (Cook y Kairiukstis, 1990; Mendoza, 2001).

Se manejaron dendrómetros artesanales fabricados en acero inoxidable, de un ancho de 2.5 cm y un largo de longitud variable, que estuvo en función del diámetro del árbol en el que fue colocado. Inicialmente se colocaron 10

dendrómetros por parcela, teniendo un total de 60 dendrómetros en las 6 parcelas.

Los dendrómetros fueron sujetos a los árboles usando muelles de acero (Figura 18), los mismos que variaron en medidas a lo largo del muestreo. Inicialmente se instalaron dendrómetros con muelles de 7.5 mm de diámetro y 45 mm de largo, adaptando luego resortes de 6mm de diámetro por 40 mm de largo.

**Figura 18** Dendrómetros instalados en el tronco de dos de los árboles muestreados. a) Dendrómetro con muelle grueso, b) Dendrómetro con muelle Delgado.

(a)



(b)



De todos los dendrómetros instalados y modificados, se tomó una medida inicial (separación inicial), que correspondía al espacio entre el inicio y final del muelle. Cada dos o tres semanas se procedió a medir dicha separación, durante un periodo de 5 meses (Figura 19). Al final del muestreo se seleccionaron los árboles que presentaron incremento entre el día inicial y final, desechando los datos de aquellos individuos que presentaron decremento.

**Figura 19.** Medición del incremento del DAP en árboles con dendrómetros artesanales



Las separaciones final e inicial de todos los árboles seleccionados se sustrajeron con el objetivo de calcular el incremento producido durante toda la etapa de muestreo. Además se calculó el perímetro inicial y final de todos los árboles. A partir del perímetro final se pudo obtener el valor del DAP final.

El incremento radial y anual se obtuvo con las siguientes formulas:

$$\text{Incremento radial} = [(DAP \text{ final} - DAP \text{ inicial})/2] * 10 \quad (8)$$

$$\text{Incremento anual} = [(\text{Incremento radial} * 365)/\# \text{ días transcurridos}] \quad (9)$$

Los dendrómetros electrónicos se usaron con el propósito de contar con datos más confiables que los proporcionados por los dendrómetros artesanales, así como para tener una base de comparación. Por lo que se instaló 2 dendrómetros en las parcelas 1 y 2 (Figura 20). Estos instrumentos aportaron

con datos del incremento radial y de la temperatura, variables que están estrechamente relacionadas. Los dendrómetros fueron programados para tomar datos cada 5 minutos y la descarga de los datos fue realizada al final del periodo de muestreo, contando con información de 5 meses. Al final del periodo de muestreo se sacaron los máximos, mínimos y promedios del incremento por día.

**Figura 20.** Dendrómetro electrónico instalado en árbol de *P. reticulata* de la parcela 2







Los datos registrados por los dendrómetros electrónicos fueron analizados en el software mini32, el cual viene incluido al comprar el equipo. Se realizaron gráficos, omitiendo los primeros registros, en los cuales se reportan caídas, asumiendo que este periodo es el que utiliza el dendrómetro en adaptarse al árbol en el que fue colocado. Los datos fiables fueron exportados al software Excel con la finalidad de hacer el análisis estadístico correspondiente, se obtuvieron los incrementos netos de cada día y los incrementos en superficie, luego se calculó el sumatorio de la temperatura media, el sumatorio del espesor o incremento neto y el sumatorio del área del incremento neto; siendo estas variables las que permitieron realizar los gráficos correspondientes...ver numeral 4.1.3.1...

### **3.5 Variables estimadas**

#### *3.5.1 Estimación de la biomasa aérea.*

Existen diferentes métodos para la estimación de la biomasa aérea de un determinado bosque. Cientos de trabajos han estimado la biomasa a partir del desarrollo de ecuaciones alométricas. Bastienne (2001) estimó la biomasa de bosques templado-lluviosos usando el método directo o destructivo y desarrollando ecuaciones alométricas y factores de expansión; Dauber *et al.*, (1992) emplearon la ecuación desarrollada por Brown *et al* (1989) para bosques húmedos, en la que se requiere información sobre el (DAP), la densidad y la altura total; otros autores Díaz *et al.*, (2007) determinaron ecuaciones alométricas para la especie *Pinus patula* en México, usaron datos de variables medidas en campo (método directo) y realizaron ecuaciones alométricas. Las metodologías utilizadas en los estudios revisados son similares, con algunas diferencias que están en función de la especie estudiada



y del sitio de investigación. En esta investigación se aplicó el método indirecto y se desarrolló una ecuación alométrica propia para *Polylepis reticulata*, la misma que fue elaborada bajo las condiciones propias del P.N.C., por lo que el uso de esta relación para la misma especie en lugares diferentes puede arrojar datos erróneos.

La estimación de la biomasa aérea, fue llevada a cabo, usando los datos del peso seco de las subramas y sus respectivas hojas, así como del diámetro basal de cada rama y subrama cortada, los que posteriormente se emplearon para realizar gráficos de regresión, en los que los puntos fueron ajustados a una línea de tendencia potencial, obteniendo una ecuación de la forma  $Y = b * X^k$ , donde b y k son constantes propias de cada gráfico de regresión.

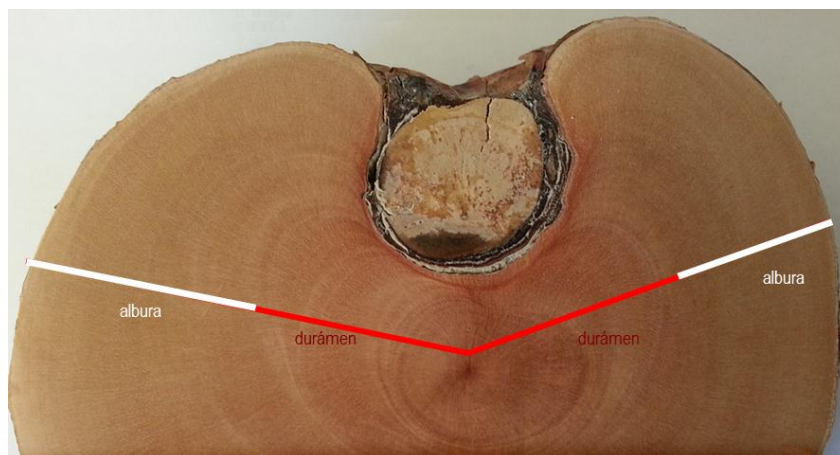
En la ecuación anterior, llamada ecuación alométrica, se reemplazaron los valores del DAP adquiridos en los censos de las 6 parcelas...ver Anexo A..., logrando estimar la biomasa aérea de los árboles de *P. reticulata*, biomasa que al ser multiplicada por la densidad de árboles, dio como producto la biomasa total del censo.

### 3.5.2 Estimación de la biomasa foliar

**3.5.2.1 Estimación del área de albura.** Una variable estructural importante dada su relación con algunas propiedades funcionales de los árboles es la sección transversal de albura. El área de albura fue estimada a partir del área de duramen, para lo cual se midió el radio del duramen de todas las muestras de cores y discos de madera extraídos. Estos datos posteriormente fueron relacionados con el DAP de los árboles de los que se sacaron las muestras, produciendo una ecuación que permitió estimar el área de duramen de todos los árboles muestreados. Con los datos estimados del área de duramen y los

datos del área basal en función del DAP de cada árbol, se determinó el área de albura por simple sustracción (Figura 21).

**Figura 21.** Muestra de disco de un árbol de *Polylepis reticulata*



**3.5.2.2 Estimación del área foliar.** Con el peso seco de las hojas de cada rama cortada y el peso específico foliar obtenido en el punto 3.4.1., se procedió a determinar la superficie foliar expresada en  $\text{cm}^2$ , la misma que luego fue graficada con la variable área de albura de cada rama, obteniendo una ecuación alométrica de la forma  $Y = aX$ , donde: Y es la superficie foliar, a es constante y X el área de albura. Para obtener la ecuación anterior, los puntos fueron ajustados a una línea de tendencia con coordenadas de origen en cero, debido a que al no tener albura, no sería posible contar con hojas.

**3.5.2.3 Estimación de la biomasa foliar.** Los datos del área foliar estimada y del peso específico foliar sirvieron para obtener la biomasa foliar de cada árbol muestreado. El promedio de la biomasa foliar de todos los árboles por parcela y la densidad existente permitió determinar la biomasa foliar por unidad de





muestreo en Mg/ha.

*3.5.2.4 Cálculo del índice foliar.* Esta variable que indica la superficie de hojas existente por una superficie determinada de suelo, fue calculada a partir del área foliar estimada y de la densidad de árboles por parcela de estudio.

### **3.6 Materiales y equipos empleados en la recolección y procesamiento de los datos**

- Sistema de Posicionamiento Global (GPS)
- Cinta métrica de 15 m de longitud
- Martillo
- Piquetas de madera de 30 cm de altura
- Cuerda fina de 5 mm de diámetro
- Etiquetas de plástico
- Hilo de nylon de 0,45 mm de diámetro
- Tijeras
- Cinta métrica forestal
- Calibrador de corteza
- Fundas plásticas con cierre automático
- Estufa
- Sierras de mano
- Tijeras de podar
- Dinamómetros de 3 kg y 1 kg
- Pies de rey electrónicos
- Fundas de papel



- Barrena de pressler de 4 mm de diámetro
- Guías portacores
- Silicona
- Dendrómetros artesanales de diferentes medidas
- Dendrómetros electrónicos
- Rotuladores permanentes
- Hojas de apuntes, para registro de datos de campo y laboratorio
- Recipientes de aluminio
- Cajas Petri
- Perforadora
- Balanzas electrónicas
- Lijadora eléctrica
- Estereoscopios
- Cámara fotográfica
- Ordenador



## CAPÍTULO 4

### 4. RESULTADOS

#### 4.1 Estructura de los bosques de *Polylepis reticulata* en el P.N.C.

Como se observó... en el apartado 2.2..., la estructura de un bosque está definida por las variables densidad, DAP y crecimiento arbóreo; sus valores para la especie estudiada en la presente investigación, fueron obtenidos empleando los métodos descritos en el capítulo 3.

##### 4.1.1 Densidad, diámetro a la altura del pecho (DAP) y área basal.

El número de pies por hectárea encontrado para la especie *Polylepis reticulata*, arrojó un valor medio de 4025 pies/ha, que representa el promedio de las densidades obtenidas en las 6 parcelas experimentales (Cuadro 3).

**Cuadro 3.** Densidad, DAP y área basal por parcela de estudio. El área basal y el número de árboles vivos presentes en la superficie de muestreo definida en 100 m<sup>2</sup>, fue extrapolado a una superficie de 1 ha. \* El DAP medio se ha calculado ponderando la frecuencia de árboles de diferente tamaño en cada parcela.

| Parcela      | Densidad<br>(pies/ha) | DAP ± Error<br>estándar<br>(cm) | Área basal<br>(m <sup>2</sup> /ha) |
|--------------|-----------------------|---------------------------------|------------------------------------|
| 1            | 8800                  | 6.62 ± 0.34                     | 61.11                              |
| 2            | 1300                  | 14.49 ± 2.35                    | 28.2                               |
| 3            | 2000                  | 13.46 ± 1.80                    | 38.1                               |
| 4            | 1700                  | 22.33 ± 1.93                    | 74.55                              |
| 5            | 3100                  | 15.75 ± 0.96                    | 67.13                              |
| 6            | 7250                  | 9.36 ± 0.38                     | 54.12                              |
| <b>Media</b> | <b>4025</b>           | <b>13.05 *</b>                  | <b>53.86</b>                       |

Se puede observar que existe una variación significativa en la densidad de las parcelas 1 y 6 con las parcelas 2, 3, 4 y 5. La densidad media refleja un valor relativamente alto, en comparación con valores de densidad hallados en otra investigación para la misma especie, así Calderón y Lozada (2010) consideraron una densidad de 1000 pies/ha para todas sus plantaciones de estudio, pudiendo deberse la gran diferencia, a que el estudio fue llevado a cabo con plántulas en un área privada, donde la densidad de la masa forestal es establecida por el propietario del bosque; ocurriendo lo contrario en la presente investigación, ya que se estudiaron bosques naturales.

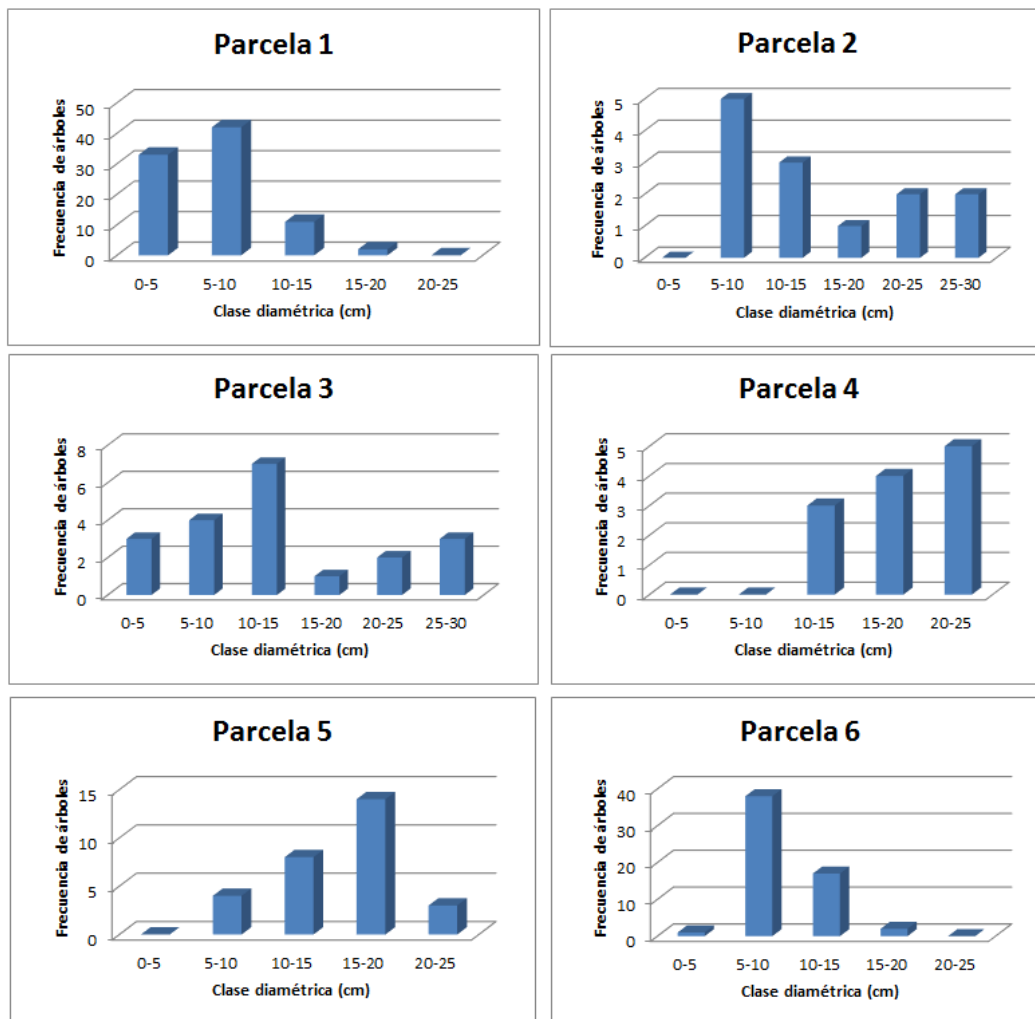


Por otra parte, Fehse *et al.*, (2002) obtuvieron para la especie *Polylepis incana*, una densidad variable que estuvo en función de la edad de los individuos, dando valores de 4370 pies/ha para masas de 6 años de edad y 1333 pies/ha para masas maduras, resultando estas densidades más comparables con el presente estudio, dado que fue también realizado en un área de protección, donde la influencia humana está limitada.

Existen relaciones dependientes de la densidad de un bosque, el DAP es una de ellas. En este estudio se encontró que los DAP de las parcelas 1 y 6 son los más bajos, correspondiendo esta situación con la cantidad de árboles existentes por parcela, suscitándose lo contrario en las parcelas 2, 3, 4 y 5.

En la figura 22., se puede visualizar la distribución de árboles por clase diamétrica para las 6 unidades de muestreo.

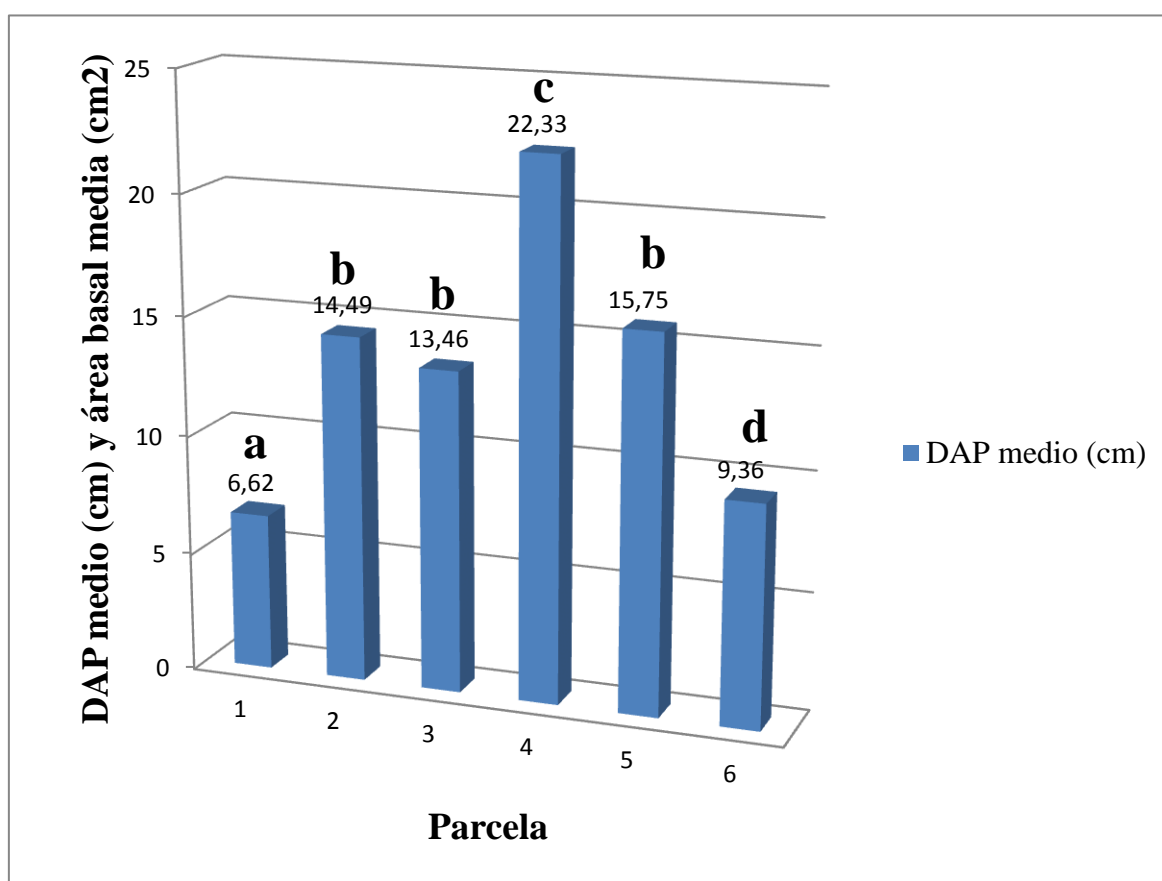
**Figura 22.** Histogramas de frecuencia de árboles por clase diamétrica en las seis parcelas experimentales. Las clases diamétricas fueron definidas tomando en cuenta los rangos (mínimos y máximos) de diámetros existentes en cada parcela, se asumió una longitud de 5 cm para cada clase.



La clase diamétrica predominante en las parcelas 1, 2 y 6 es la de 5-10 cm, seguida por la de 0-5 cm para la 1, y la de 10-15 cm para la 2 y 6. Mientras que en las unidades muestrales 3, 4 y 5 prevalecen las clases diamétricas superiores.

Los DAP de los árboles de todas las parcelas, fueron analizados utilizando una prueba T de student, empleando un intervalo de confianza del 95 % (nivel de significación= 0.05). El análisis sirvió para comparar las medias entre parcelas de la variable mencionada previamente. En las figura 23., se puede percibir las diferencias y similitudes entre unidades de muestreo.

**Figura 23.** Grupos de parcelas definidas a partir de la aplicación de la prueba t de student. Las parcelas 2, 3 y 5 son similares en DAP (grupo b) y por ende en variables que están en función del DAP (por ejemplo el área basal), mientras que las parcelas 1 (grupo a), 4 (grupo c) y 6 (grupo d) son diferentes entre sí y distintas al resto.



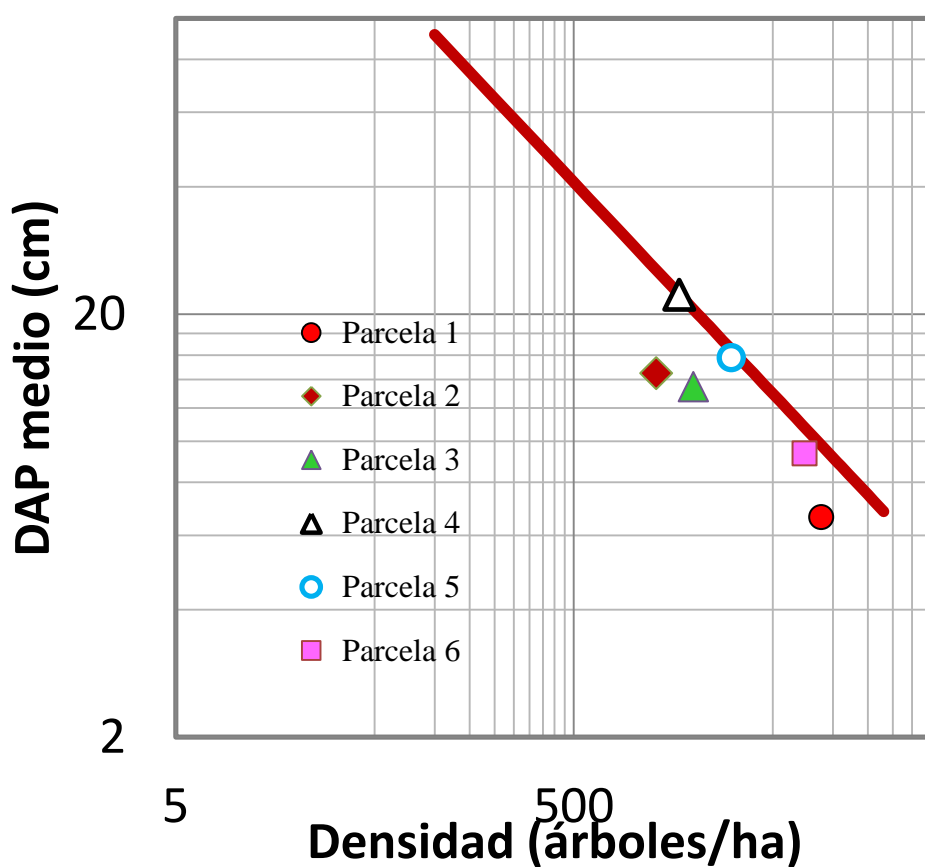


#### *4.1.2 Condiciones de autoaclareo.*

Aparentemente todos los rodales estudiados y analizados se encuentran en condiciones de autoaclareo o muy próximos a él...revisar sección 2.2.3.... Esto se puede visualizar, al ajustar los puntos resultantes de graficar la densidad de las parcelas y el DAP a la línea de autotala con pendiente  $-1/2$ , como expone la figura 24.



**Figura 24.** Condiciones de autoaclareo en las 6 unidades de muestreo. La ordenada en el origen de la línea de autoaclareo se ha estimado a partir de la parcela 4, la de mayor DAP medio y que presenta las características de madurez más desarrolladas.



En todas las parcelas se observa la relación inversa que mantiene el autoaclareo. En las parcelas 1 y 6 hay mayor cantidad de árboles que en las parcelas 2, 3, 4 y 5, pero los diámetros de las primeras parcelas son más bajos que los de las segundas.

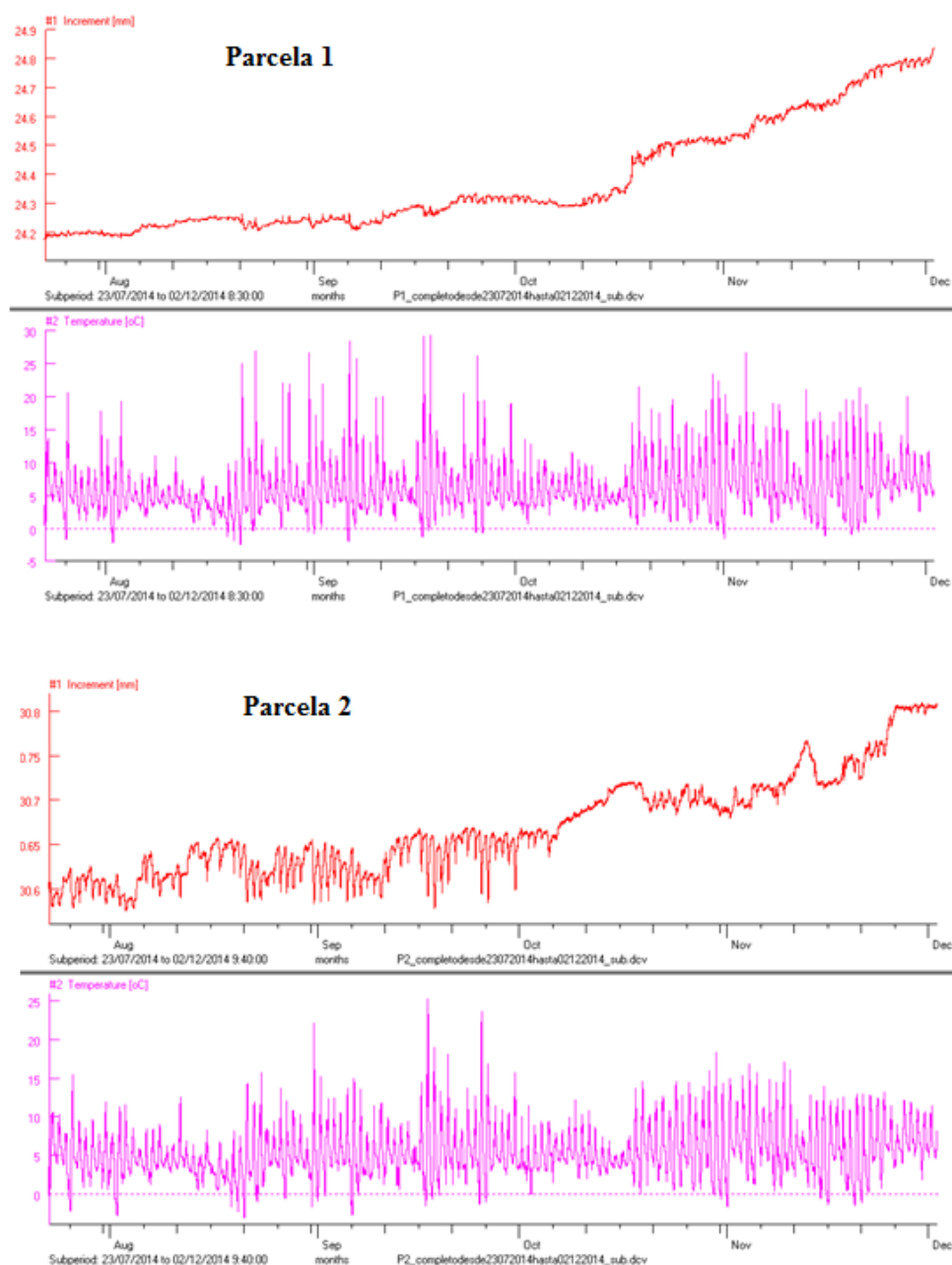


Conocer las condiciones de los bosques de *Polylepis reticulata*, frente al proceso natural del autoaclareo, resulta crucial para la consistencia de los análisis funcionales posteriores, así como para disponer de bases al momento de gestionar la reserva forestal.

#### *4.1.3 Tasas de crecimiento de Polylepis reticulata*

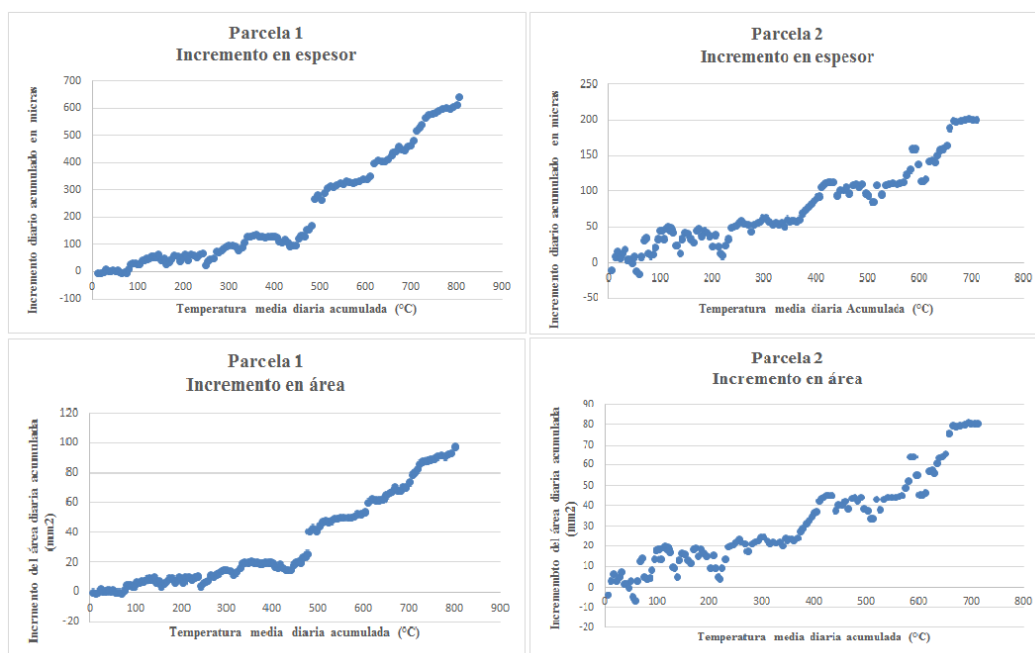
*4.1.3.1 Crecimiento de la especie Polylepis reticulata observado con dendrómetros electrónicos.* Los dendrómetros electrónicos arrojaron datos desde el 20 de junio del 2014, pero los valores fueron considerados desde el 22 de julio del mismo año, asumiendo que los primeros 32 días que no se tomaron en cuenta, fueron los mismos que los dendrómetros utilizaron en adaptarse al árbol. Se obtuvieron dos gráficos para cada dendrómetro, como puede visualizarse en la figura 25.

**Figura 25.** Datos de los dendrómetros electrónicos instalados en los árboles de las parcelas 1 y 2. En la parte superior de cada gráfico se visualiza el incremento en mm y en la parte inferior la temperatura en ° C. Ambas variables se registran en continuo a intervalos de 5 min



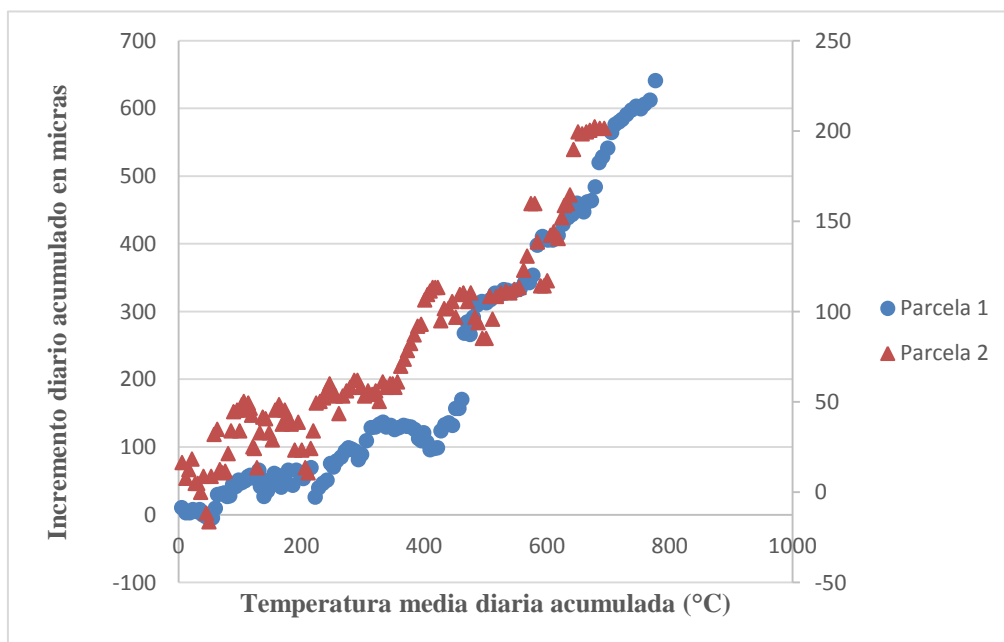
Los datos de las figuras anteriores fueron analizados y exportados al software Excel, donde se obtuvieron los máximos y promedios de las variables incremento y temperatura, con estos valores fue posible graficar lo observado en la figura siguiente:

**Figura 26.** Incremento en espesor e incremento en superficie para los árboles de las parcelas 1 y 2. El incremento en área fue calculado a partir del incremento neto. Se puede observar que el árbol de la parcela 1 tiene mayor incremento que el árbol de la parcela 2, situación que evidentemente está relacionada con el diámetro de los árboles. El primero tiene un DAP de 9.74 cm, mientras que el DAP del segundo es de 25.81 cm, encontrándose mayor crecimiento para el árbol más joven (menor diámetro).



En la figura 27., se puede observar la tendencia del crecimiento que siguen los árboles de las dos parcelas.

**Figura 27.** Incremento de los árboles de las parcelas 1 y 2.



#### 4.1.3.2 Crecimiento de la especie *Polylepis reticulata* observado con dendrómetros artesanales

- *Tasas de crecimiento en Polylepis reticulata.* Con la finalidad de obtener las tasas de crecimiento para la especie estudiada en el presente trabajo, se aplicaron los métodos descritos...en el punto 3.4.4.2..., del apartado material y métodos. Los cuadros 4., 5., 6., 7., 8., y 9 muestran los valores del DAP inicial y final, fechas correspondientes a los diámetros iniciales y finales y los incrementos. El incremento radial fue calculado restando los diámetros inicial y final de cada individuo. Para el cálculo del incremento anual, primero se obtuvo el incremento producido durante todo el periodo de muestreo y luego se ponderaron los resultados para los 365 días que tiene un año.

**Cuadro 4.** Datos dendrométricos de la parcela 1.

| Árbol | DAP (cm) | Día inicial | Día final  | Días transcurridos | DAP final (cm) | Incremento (mm) | Incremento radial (mm) | Incremento anual (mm) |
|-------|----------|-------------|------------|--------------------|----------------|-----------------|------------------------|-----------------------|
| A15   | 9,77     | 01/07/2014  | 02/12/2014 | 154                | 9,80           | 1,07            | 0,17                   | 0,40                  |
| A67   | 9,84     | 01/07/2014  | 02/12/2014 | 154                | 9,88           | 1,38            | 0,22                   | 0,52                  |
| A68   | 12       | 01/07/2014  | 02/12/2014 | 154                | 12,06          | 1,99            | 0,32                   | 0,75                  |
| A63   | 12,73    | 22/07/2014  | 02/12/2014 | 133                | 12,75          | 0,71            | 0,11                   | 0,31                  |
| A6    | 19,42    | 12/08/2014  | 02/12/2014 | 112                | 19,45          | 0,91            | 0,14                   | 0,47                  |
| A3    | 11,08    | 19/08/2014  | 02/12/2014 | 105                | 11,09          | 0,33            | 0,05                   | 0,18                  |
| A12   | 10,44    | 09/09/2014  | 02/12/2014 | 84                 | 10,45          | 0,39            | 0,06                   | 0,27                  |

**Cuadro 5.** Datos dendrométricos de la parcela 2

| Árbol | DAP (cm) | Día inicial | Día final  | Días transcurridos | DAP final (cm) | Incremento (mm) | Incremento radial (mm) | Incremento anual (mm) |
|-------|----------|-------------|------------|--------------------|----------------|-----------------|------------------------|-----------------------|
| A10   | 10,38    | 19/08/2014  | 02/12/2014 | 105                | 10,40          | 0,68            | 0,11                   | 0,38                  |
| A11   | 11,46    | 19/08/2014  | 02/12/2014 | 105                | 11,47          | 0,24            | 0,04                   | 0,13                  |
| A9    | 24,51    | 12/08/2014  | 02/12/2014 | 112                | 24,52          | 0,23            | 0,04                   | 0,12                  |
| A13   | 24,61    | 19/08/2014  | 02/12/2014 | 105                | 24,62          | 0,35            | 0,06                   | 0,19                  |
| A1    | 25,43    | 19/08/2014  | 02/12/2014 | 105                | 25,45          | 0,63            | 0,10                   | 0,35                  |
| AE    | 34,98    | 19/08/2014  | 02/12/2014 | 105                | 34,98          | 0,01            | 0,00                   | 0,01                  |



**Cuadro 6.** Datos dendrométricos de la parcela 3

| Árbol | DAP (cm) | Día inicial | Día final  | Días transcurridos | DAP final (cm) | Incremento (mm) | Incremento radial (mm) | Incremento anual (mm) |
|-------|----------|-------------|------------|--------------------|----------------|-----------------|------------------------|-----------------------|
| A4    | 7,73     | 15/07/2014  | 02/12/2014 | 140                | <b>7,77</b>    | 1,34            | 0,21                   | 0,56                  |
| A10   | 10,38    | 14/10/2014  | 02/12/2014 | 49                 | 10,40          | 0,62            | 0,10                   | 0,74                  |
| A18   | 11,78    | 15/07/2014  | 02/12/2014 | 140                | 11,81          | 0,93            | 0,15                   | 0,39                  |
| A12   | 12,70    | 15/07/2014  | 02/12/2014 | 140                | 12,74          | 1,25            | 0,20                   | 0,52                  |
| A9    | 13,40    | 15/07/2014  | 02/12/2014 | 140                | 13,43          | 1,05            | 0,17                   | 0,44                  |
| A2    | 14,20    | 15/07/2014  | 02/12/2014 | 140                | 14,23          | 0,85            | 0,14                   | 0,35                  |
| A1    | 15,12    | 15/07/2014  | 02/12/2014 | 140                | 15,13          | 0,43            | 0,07                   | 0,18                  |
| A19   | 23,52    | 15/07/2014  | 02/12/2014 | 140                | 23,54          | 0,63            | 0,10                   | 0,26                  |
| A11   | 10,50    | 29/07/2014  | 02/12/2014 | 126                | 10,54          | 1,16            | 0,18                   | 0,53                  |
| A5    | 12,73    | 29/07/2014  | 02/12/2014 | 126                | 12,74          | 0,28            | 0,04                   | 0,13                  |
| A15   | 27,76    | 30/09/2014  | 02/12/2014 | 63                 | 27,78          | 0,78            | 0,12                   | 0,72                  |



**Cuadro 7.** Datos dendrométricos de la parcela 4

| Árbol | DAP (cm) | Día inicial | Día final  | Días transcurridos | DAP final (cm) | Incremento (mm) | Incremento radial (mm) | Incremento anual (mm) |
|-------|----------|-------------|------------|--------------------|----------------|-----------------|------------------------|-----------------------|
| A10   | 13,08    | 29/07/2014  | 02/12/2014 | 126                | 13,09          | 0,27            | 0,04                   | 0,12                  |
| A6    | 16,81    | 29/07/2014  | 02/12/2014 | 126                | 16,85          | 1,18            | 0,19                   | 0,54                  |
| A1    | 14,42    | 08/07/2014  | 02/12/2014 | 147                | 14,45          | 0,98            | 0,16                   | 0,39                  |
| A8    | 17,7     | 08/07/2014  | 02/12/2014 | 147                | 17,71          | 0,23            | 0,04                   | 0,09                  |
| A9    | 19,23    | 08/07/2014  | 02/12/2014 | 147                | 19,25          | 0,62            | 0,10                   | 0,25                  |
| A4    | 20,47    | 02/09/2014  | 02/12/2014 | 91                 | 20,49          | 0,49            | 0,08                   | 0,31                  |
| A14   | 21,33    | 29/07/2014  | 02/12/2014 | 126                | 21,34          | 0,35            | 0,06                   | 0,16                  |
| A5    | 21,71    | 29/07/2014  | 02/12/2014 | 126                | 21,72          | 0,33            | 0,05                   | 0,15                  |
| A7    | 22,79    | 22/07/2014  | 02/12/2014 | 133                | 22,79          | 0,07            | 0,01                   | 0,03                  |
| A12   | 27,22    | 30/09/2014  | 02/12/2014 | 63                 | 27,23          | 0,18            | 0,03                   | 0,17                  |
| A3    | 27,69    | 02/09/2014  | 02/12/2014 | 91                 | 27,71          | 0,74            | 0,12                   | 0,47                  |
| A16   | 35,52    | 02/09/2014  | 02/12/2014 | 91                 | 35,53          | 0,20            | 0,03                   | 0,13                  |



**Cuadro 8.** Datos dendrométricos de la parcela 5

| Árbol | DAP (cm) | Día inicial | Día final  | Días transcurridos | DAP final (cm) | Incremento (mm) | Incremento radial (mm) | Incremento anual (mm) |
|-------|----------|-------------|------------|--------------------|----------------|-----------------|------------------------|-----------------------|
| A8    | 18,3     | 19/08/2014  | 02/12/2014 | 105                | 18,31          | 0,42            | 0,07                   | 0,23                  |
| A9    | 17,67    | 01/07/2014  | 02/12/2014 | 154                | 17,70          | 0,91            | 0,14                   | 0,34                  |
| A17   | 23,24    | 01/07/2014  | 02/12/2014 | 154                | 23,26          | 0,57            | 0,09                   | 0,22                  |
| A23   | 23,17    | 01/07/2014  | 02/12/2014 | 154                | 23,19          | 0,49            | 0,08                   | 0,18                  |
| A2    | 18,62    | 08/07/2014  | 02/12/2014 | 147                | 18,66          | 1,14            | 0,18                   | 0,45                  |
| A4    | 17,03    | 08/07/2014  | 02/12/2014 | 147                | 17,07          | 1,29            | 0,21                   | 0,51                  |
| A13   | 13,04    | 29/07/2014  | 02/12/2014 | 126                | 13,08          | 1,27            | 0,20                   | 0,59                  |
| A22   | 16,36    | 08/07/2014  | 02/12/2014 | 147                | 16,37          | 0,26            | 0,04                   | 0,10                  |
| A28   | 20,98    | 29/07/2014  | 02/12/2014 | 126                | 21,00          | 0,73            | 0,12                   | 0,34                  |

**Cuadro 9.** Datos dendrométricos de la parcela 6

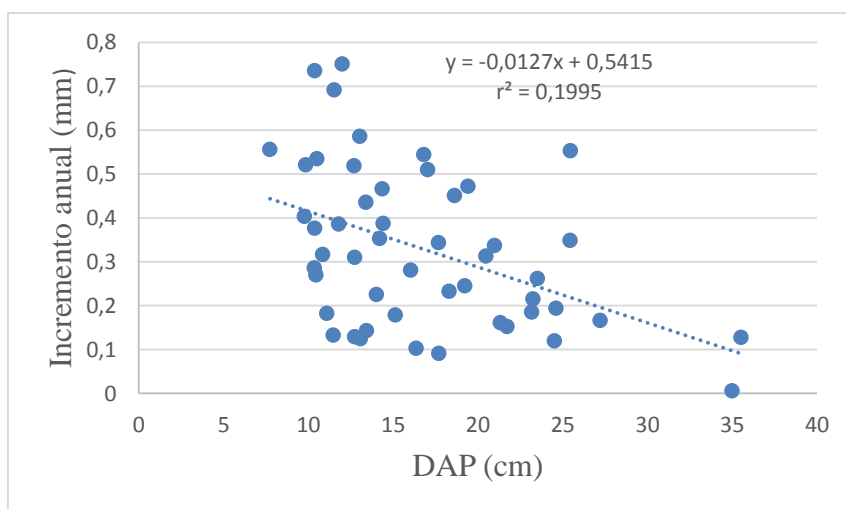
| Árbol | DAP (cm) | Día inicial | Día final  | Días transcurridos | DAP final (cm) | Incremento (mm) | Incremento radial (mm) | Incremento anual (mm) |
|-------|----------|-------------|------------|--------------------|----------------|-----------------|------------------------|-----------------------|
| A5    | 11,52    | 29/07/2014  | 02/12/2014 | 126                | 11,57          | 1,50            | 0,24                   | 0,69                  |
| A14   | 10,35    | 29/07/2014  | 02/12/2014 | 126                | 10,37          | 0,62            | 0,10                   | 0,29                  |
| A54   | 16,04    | 08/07/2014  | 02/12/2014 | 147                | 16,06          | 0,71            | 0,11                   | 0,28                  |
| A2    | 13,43    | 29/07/2014  | 02/12/2014 | 126                | 13,44          | 0,31            | 0,05                   | 0,14                  |
| A4    | 14,36    | 08/07/2014  | 02/12/2014 | 147                | 14,40          | 1,18            | 0,19                   | 0,47                  |
| A40   | 10,85    | 08/07/2014  | 02/12/2014 | 147                | 10,88          | 0,80            | 0,13                   | 0,32                  |
| A43   | 14,01    | 08/07/2014  | 02/12/2014 | 147                | 14,03          | 0,57            | 0,09                   | 0,23                  |

**Cuadro 10.** Datos dendrométricos electrónicos

| Parcela | Árbol | DAP (cm) | Día inicial | Día final  | Días transcurridos | Incremento radial (mm) | Incremento anual (mm) |
|---------|-------|----------|-------------|------------|--------------------|------------------------|-----------------------|
| 1       | AE    | 9,67     | 23/07/2014  | 02/12/2014 | 133                | 0,64                   | 1,77                  |
| 2       | AE    | 25,46    | 23/07/2014  | 02/12/2014 | 133                | 0,20                   | 0,55                  |

A partir de los datos dendrométricos (artesanales y electrónicos) de todas las parcelas, se realizó un gráfico de correlación, en donde los puntos fueron ajustados a una línea de tendencia, dando dicha línea una ecuación que permitió estimar el incremento anual de los troncos, esto puede ser visualizado en la figura 28.

**Figura 28.** Correlación negativa entre las variables DAP e incremento anual. El gráfico fue realizado con 54 puntos. Se observa una relación decreciente entre las dos variables, lo cual se espera, ya que a medida que aumenta el DAP, el incremento disminuye. La variabilidad interanual de la tasa de crecimiento es muy elevada.





Para la obtención de los incrementos, las variables relacionadas en el gráfico anterior fueron reemplazadas en la ecuación, quedando de la siguiente forma:

$$IA = -0,0127 * DAP + 0.5415 \quad (10)$$

Donde:

IA= Incremento Anual

Con la ecuación (10) se calculó el incremento anual para los individuos de todas las parcelas...ver anexo B... Las tasas de incremento anual varían en función del tamaño de cada árbol; así los árboles con DAP de una clase entre 5-10 cm tienen incrementos de 0.45 mm, mientras que los árboles con diámetro entre una clase de 30-40 cm) crecen a un ritmo de 0.04 mm por año.

#### **4.2 Estructura de los árboles de *Polylepis reticulata***

Un componente importante de la biomasa de un árbol, son sus hojas, por lo que conocer y analizar la estructura de esta fracción del árbol, es fundamental al momento de estimar su biomasa.



#### 4.2.1 *Peso específico foliar.*

El valor del peso específico foliar calculado, difiere de una parcela a otra; esta situación puede corresponder al estado de las hojas de cada parcela, que sin duda está influenciado por el grosor de las hojas y las condiciones propias del bosque. En el cuadro 11., se puede apreciar los pesos específicos foliares, que se han obtenido a partir de la recolección de varias muestras, para disponer de datos más confiables.

**Cuadro 11.** Pesos específicos foliares por parcela de muestreo. El peso específico foliar por parcela fue obtenido calculando el promedio de los pesos de las muestras recolectadas.

| <b>Parcela</b> | <b># de muestras</b> | <b>Peso específico foliar <math>\pm</math> Error estandar (g/m<sup>2</sup>)</b> |
|----------------|----------------------|---|
| 1              | 4                    | 162.75 $\pm$ 13.62  |
| 2              | 4                    | 176.75 $\pm$ 12.36  |
| 3              | 4                    | 194.50 $\pm$ 6.70   |
| 4              | 3                    | 226.33 $\pm$ 8.37   |
| 5              | 4                    | 173.25 $\pm$ 12.17  |
| 6              | 4                    | 201.50 $\pm$ 28.59  |
| <b>Media</b>   |                      | <b>189.18</b>   |



Cinco de las 6 parcelas arrojan valores de peso específico foliar comprendidos entre 163-202 g/m<sup>2</sup>, sin embargo, la parcela 4 da el valor más alto.

Con fines de descifrar, si los pesos específicos foliares entre parcelas son significativamente diferentes, los valores de la tabla anterior fueron sometidos a un análisis univariante de la varianza de un factor y réplica. Se encontró que no existe diferencia entre los pesos específicos foliares de todas las parcelas, pudiendo usarse el valor medio de esta variable para cálculos posteriores (superficie foliar,...ver numeral 4.2.4.1...).

#### *4.2.2 Contenido de humedad en ramas y hojas.*

De las muestras de ramas cortadas...apartados 3.4.2., 3.4.3... se encontró contenidos de humedad entre el 41-51%, para la madera y entre el 44-54% para las hojas, con valores medios del 46% y 48% respectivamente (Cuadro 12.).



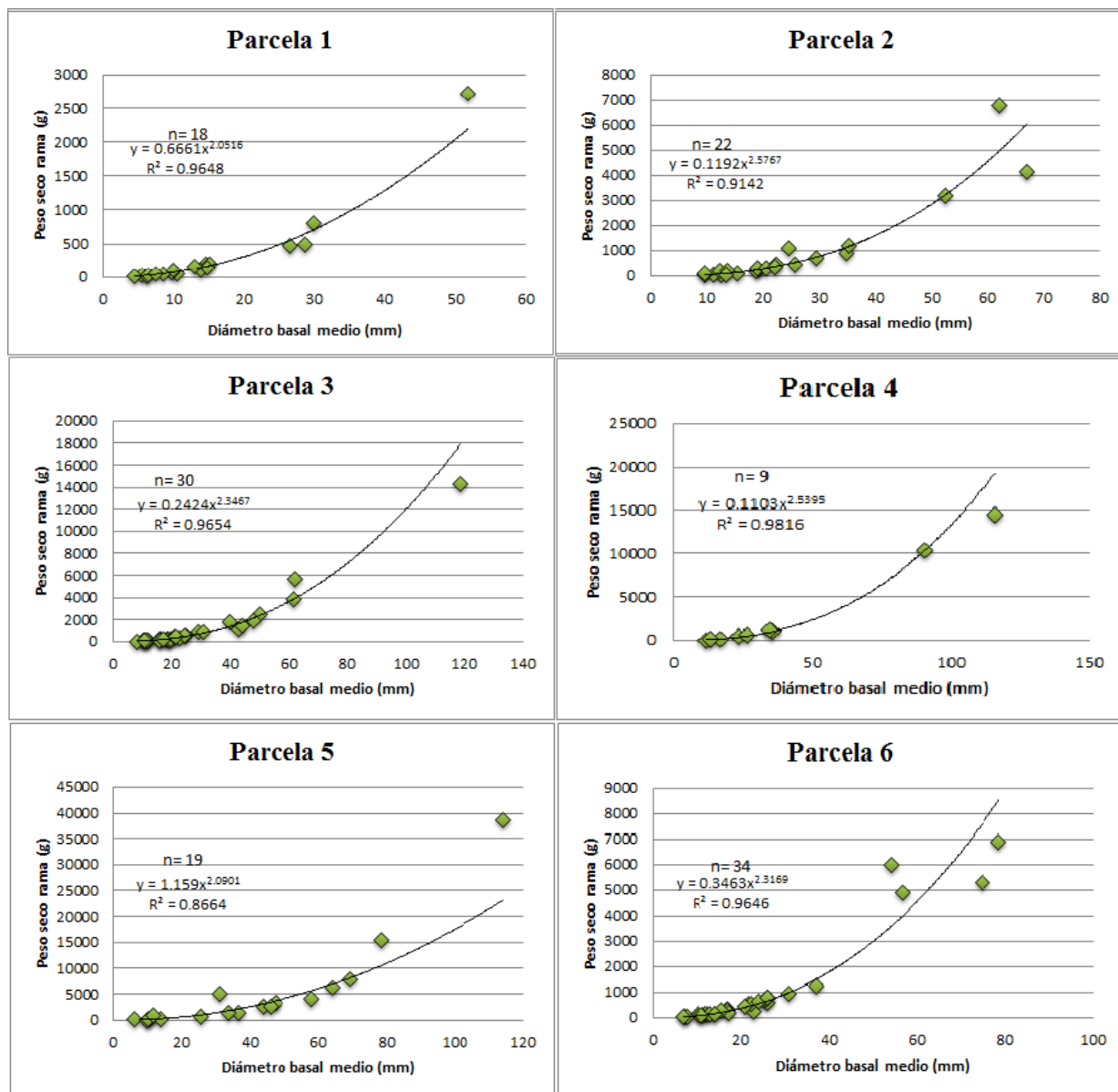
**Cuadro 12.** Porcentaje de agua presente en las ramas y hojas de *Polylepis reticulata*. Para el cálculo se consideraron los pesos secos, debido a que la humedad varía de una parcela a otra.

| Parcela      | # de muestras | Porcentaje de humedad presente en la madera (%) | Porcentaje de humedad presente en las hojas (%) |
|--------------|---------------|---|---|
| 1            | 3             | 48  | 52  |
| 2            | 2             | 46  | 48  |
| 3            | 3             | 42  | 45  |
| 4            | 2             | 44  | 48  |
| 5            | 2             | 48  | 48  |
| 6            | 3             | 50  | 47  |
| <b>Media</b> |               | <b>46</b>                                       | <b>48</b>                                       |

#### 4.2.3 Ecuación alométrica desarrollada para la estimación de la biomasa aérea de *Polylepis reticulata*.

La figura 29., muestra los gráficos de correlación realizados para las 6 parcelas de muestreo, que son los que permitieron la obtención de una ecuación a partir de las variables DAP y peso seco de las ramas.

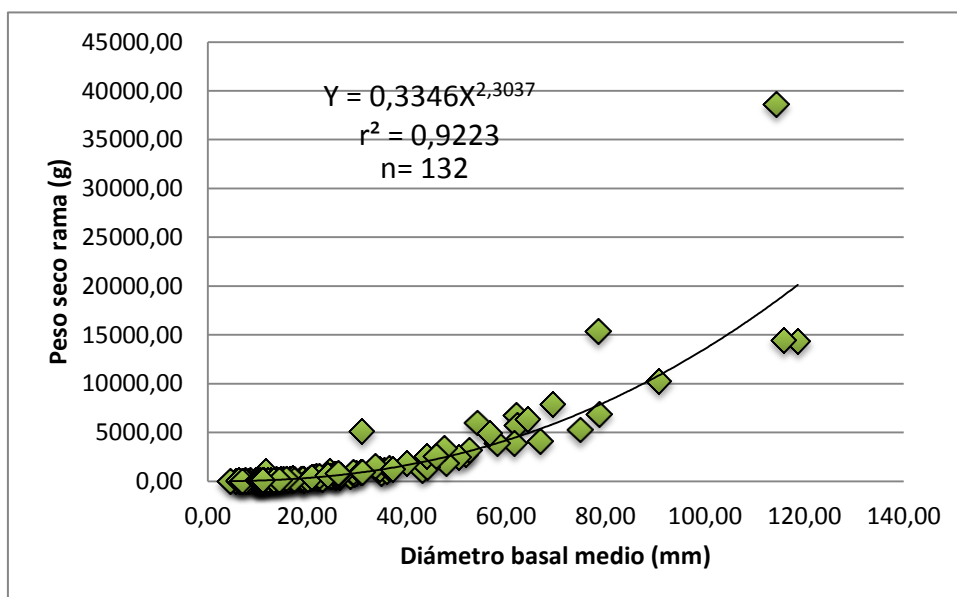
**Figura 29.** Ecuaciones alométricas calculadas para las 6 parcelas experimentales



En todos los gráficos de regresión, el valor del  $r^2$  es cercano o muy próximo a la unidad, lo que indica que existe una buena relación entre las dos variables graficadas.

La función alométrica que permitió estimar la biomasa aérea en función del DAP, se desarrolló en base al análisis de 132 muestras, que son resultado del fraccionamiento de un total de 13 ramas principales de las 6 unidades de muestreo.

**Figura 30.** Gráfico de regresión que permitió la obtención de la ecuación alométrica para la especie *Polylepis reticulata*. Consiste en la unión de los gráficos conseguidos en cada parcela de muestreo.



La ecuación (11), extraída del gráfico anterior, permitió la estimación de la biomasa aérea total y de cada parcela, así como el cálculo del contenido de carbono en los bosques muestreados.

$$Y = 0.3346X^{2.3037} \quad (11)$$





Donde:

Y= Biomasa aérea

X= DAP

La biomasa aérea o  $Y$  constituye la variable dependiente y el DAP o  $X$  la variable independiente, quedando la ecuación de la forma (12).

$$\text{Biomasa aérea} = 0.3346DAP^{2.3037} \quad (12)$$

Los valores de biomasa y contenido de carbono calculados pueden ser observados en el cuadro 13., existiendo alta confiabilidad en los mismos, ya que el  $r^2$  arrojado por la ecuación alométrica es cercano a la unidad.

**Cuadro 13.** Biomasa aérea y contenido de carbono por parcela. Los valores de biomasa y contenido de carbono fueron obtenidos en  $\text{kg/m}^2$ , pero fueron extrapolados a una superficie de 1 ha. Las dos variables anteriores se estimaron a partir de la ecuación obtenida en la figura 30.

| Parcela      | Biomasa aérea<br>estimada<br>(Mg/ha) | Contenido de carbono<br>presente en la biomasa<br>aérea<br>(Mg/ha) |
|--------------|--------------------------------------|--|
| 1            | 62.39                                | 31.19  |
| 2            | 61.49                                | 30.74  |
| 3            | 81.87                                | 40.94  |
| 4            | 173.39                               | 86.7   |
| 5            | 140.03                               | 70.01  |
| 6            | 96.14                                | 48.07  |
| <b>Media</b> | <b>102.55</b>                        | <b>51.28</b>   |

La biomasa aérea oscila entre 61.49 y 173.39 Mg/ha, siendo el valor medio 102.55 Mg/ha, calculado para una densidad promedio de 4025 pies/ha.

#### 4.2.4 Biomasa foliar estimada

**4.2.4.1 Área de albura y área foliar estimada.** Resulta fundamental conocer y entender el sistema de transporte de agua en los árboles, es decir la sección del árbol encargada de transportar dicho elemento, ya que de esta última dependerá el sustento del área foliar del individuo. La albura ejecuta este rol, y a medida que crece un determinado árbol, aumenta el área de albura hasta



llegar a un límite constante, donde por más que crezca el árbol, la albura ya no aumenta, debido a que ha alcanzado el nivel necesario para mantener las hojas sustentadas en sus copas.

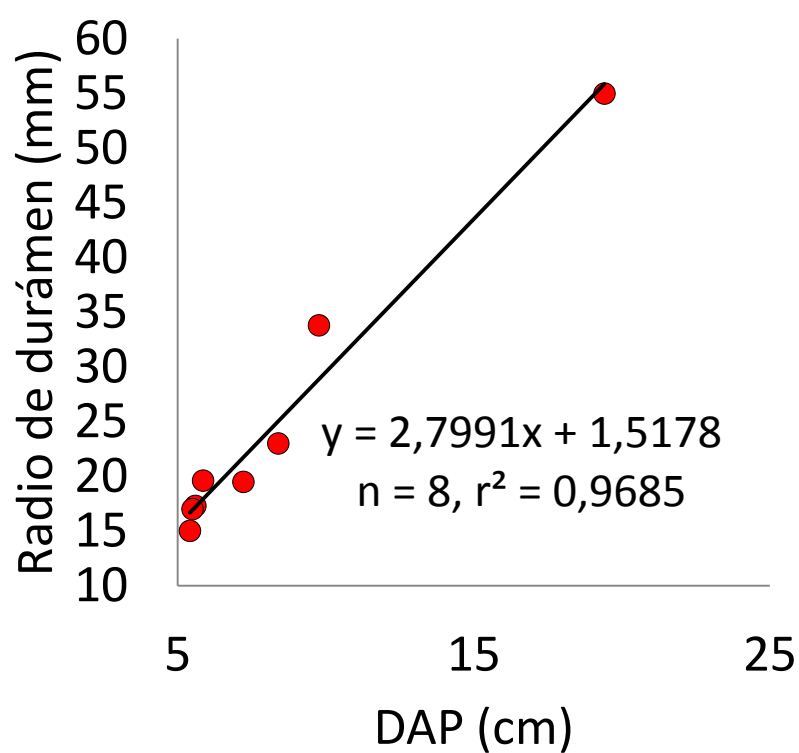
Para conocer el área y porcentaje de albura en los árboles de la especie *Polylepis reticulata*, y posteriormente poder relacionarlo con la superficie de hojas...más adelante..., se extrajeron muestras que permitieron datar de esta información. El cuadro 14., expone la cantidad de muestras extraídas por parcela, el DAP, la albura y duramen correspondientes.

**Cuadro 14.** Radio de albura y duramen para muestras de *Polylepis reticulata*

| Parcela | # de muestras | DAP (cm) | Albura (mm) | Duramen (mm) |
|---------|---------------|----------|-------------|--------------|
| 1       | 1             | 5        | 12          | 15           |
| 2       | 3             | 19       | 42          | 55           |
|         |               | 8        | 19          | 23           |
|         |               | 6        | 11          | 17           |
| 3       | 1             | 7        | 17          | 19.5         |
| 4       | 1             | 10       | 15          | 33.8         |
| 6       | 2             | 6        | 11          | 17.3         |
|         |               | 6        | 10          | 19.6         |

Los radios de albura y duramen de todas las muestras extraídas, se relacionaron con el DAP del árbol del cual fueron sacadas, cumpliéndose la relación directamente proporcional, donde a medida que crece el árbol, el duramen y la albura aumentan, como se puede observar en la figura 31.

**Figura 31.** Relación entre las variables DAP y duramen



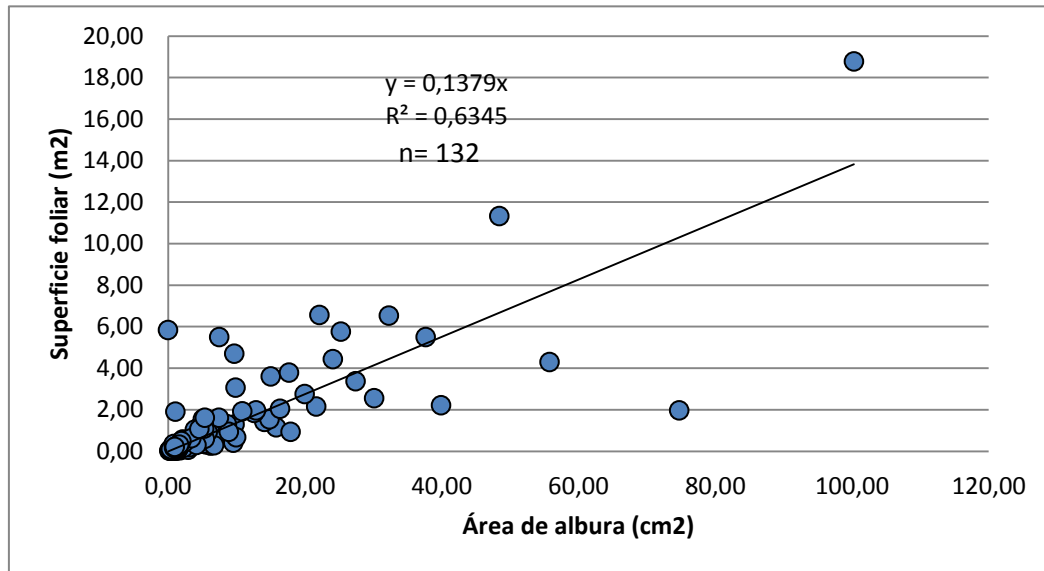
Con la ecuación obtenida en el gráfico anterior fue fácil estimar el área de duramen y por ende el área de albura. El cuadro 15., muestra los valores de dichas variables por parcela.

**Cuadro 15.** Área de albura

| <b>Parcela</b> | <b>Área basal<br/>(m<sup>2</sup>/ha)</b> | <b>Área de albura<br/>(m<sup>2</sup>/ha)</b> | <b>Porcentaje del área de<br/>albura respecto del área<br/>basal<br/>(%)</b> |
|----------------|--|--|--|
| 1              | 61.11                                    | 23.86  | 39.04  |
| 2              | 28.2                                     | 18.85  | 66.84  |
| 3              | 38.1                                     | 25.42  | 66.72  |
| 4              | 74.55                                    | 23.95  | 32.13  |
| 5              | 67.13                                    | 44.76  | 66.68  |
| 6              | 54.12                                    | 35.53  | 65.65  |

Además, de acuerdo al índice de Hubbert, se obtuvo un gráfico (Figura 32) en el que se relacionaron los parámetros superficie foliar y área de albura, ya que de acuerdo con el pipe model de Shinozaki (1994), existe una relación hidráulica funcional entre la sección transversal de albura, en cualquier punto del árbol, y la superficie foliar acumulada sobre dicho punto.

**Figura 32.** Relación Hidráulica entre área de albura y superficie foliar



Este gráfico brinda una ecuación de la forma  $Y = 0.137X$ , donde Y es el área foliar y X es el área de albura. Al contar con los valores del área de albura fue posible estimar el área foliar de todas las parcelas.



**Cuadro 16.** Área foliar, Biomasa Foliar e índice foliar por parcela de estudio. El área foliar y Biomasa foliar fueron estimadas a partir de la ecuación obtenida en la figura 32.

| <b>Parcela</b> | <b>Área foliar (m<sup>2</sup>/ha)</b> | <b>Biomasa Foliar (Mg/ha)</b> | <b>Índice foliar</b> |
|----------------|---------------------------------------|-------------------------------|----------------------|
| 1              | 32912                                 | 6.22                          | 3.29                 |
| 2              | 26000                                 | 4.91                          | 2.6                  |
| 3              | 35040                                 | 6.63                          | 3.51                 |
| 4              | 33014                                 | 6.24                          | 3.3                  |
| 5              | 61721                                 | 11.67                         | 6.17                 |
| 6              | 49010                                 | 9.26                          | 4.9                  |
| <b>Media</b>   | 39616                                 | 7.49                          | 3.96                 |

#### 4.3 Producción de la biomasa aérea

A partir de la ecuaciones alométricas utilizadas para la estimación de la biomasa y del análisis de los patrones de crecimiento, se pudo estimar la producción de la biomasa aérea de cada parcela (Cuadro 17.).

**Cuadro 17.** Producción de la biomasa aérea. La biomasa aérea media es de 102.55 Mg. ha<sup>-1</sup> y su incremento anual es de 1.08 Mg·ha<sup>-1</sup>·y<sup>-1</sup>

| Parcela      | Biomasa (Mg/ha) | Producción de madera (Mg/ha/año) |
|--------------|-----------------|----------------------------------|
| 1            | 62,39           | 1,46                             |
| 2            | 61,49           | 0,40                             |
| 3            | 81,87           | 0,58                             |
| 4            | 173,39          | 0,66                             |
| 5            | 140,03          | 1,12                             |
| 6            | 96,14           | 1,73                             |
| <b>Media</b> | <b>102,55</b>   | <b>1,11</b>                      |

#### 4.4 Desfronde, descomposición y renovación foliar

Los parámetros desfronde, descomposición y renovación foliar para la especie *Polylepis reticulata*, fueron calculados por Pinos (2014), quien realizó la medición de estas variables en las mismas parcelas en las que se llevó a cabo la presente investigación. Se encontró que cada año caen al suelo 387.30 g·m<sup>-2</sup> de hojas, representando el 51 % de la masa foliar presente en las copas, la misma que tarda 1.74 años en renovarse. La descomposición fue analizada utilizando el modelo de Olson, dando una tasa anual estimada de  $k = 0.39 \text{ año}^{-1}$ . En el cuadro 18 se pueden apreciar los valores de las variables mencionadas anteriormente por cada una de las seis parcelas experimentales.



**Cuadro 18.** Desfronde, descomposición y renovación foliar. La tasas de desfronde y la renovación foliar fueron calculados usando los valores de biomasa foliar (Cuadro 15)

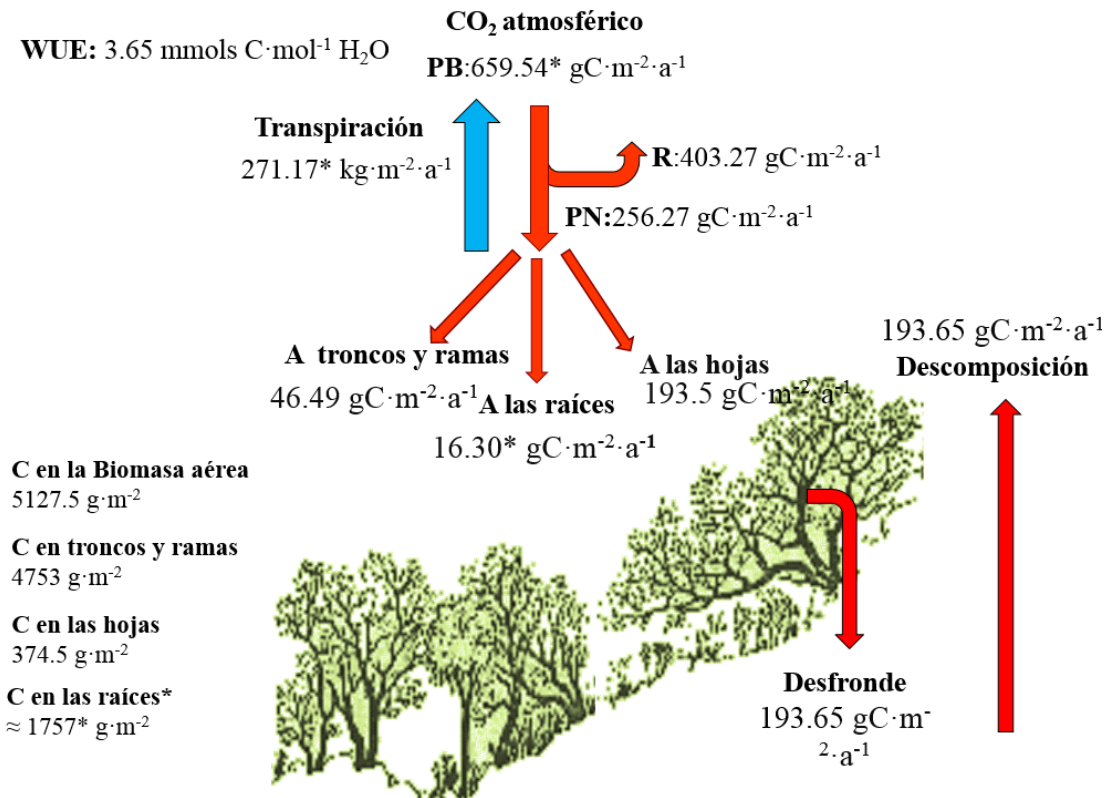
| Parcela      | Desfronde<br>(g/m <sup>2</sup> /año) | Tasa de<br>desfronde<br>(años <sup>-1</sup> ) | Tasa de<br>descomposición<br>(años <sup>-1</sup> ) | Renovación<br>foliar (años) |
|--------------|--------------------------------------|---|--|-----------------------------|
| 1            | 423,19                               | 0,72  | 0,44   | 1,39                        |
| 2            | 364,6                                | 0,73  | 0,40   | 1,37                        |
| 3            | 459,03                               | 0,6   | 0,40   | 1,61                        |
| 4            | 333,03                               | 0,43  | 0,26   | 2,34                        |
| 5            | 456,13                               | 0,75  | 0,37   | 1,33                        |
| 6            | 287,8                                | 0,41  | 0,47   | 2,42                        |
| <b>Media</b> | <b>387,30</b>                        | <b>0,61</b>                                   | <b>0,39</b>  | <b>1,74</b>                 |

**Fuente:** Pinos (2015)

#### 4.5 Existencias y flujos de carbono en los bosques de *Polylepis reticulata*

El contenido de carbono existente en la biomasa aérea, hojas, troncos y ramas fue calculado a partir de los valores en biomasa de estas variables, asumiendo que un 50 % es carbono. La cantidad de carbono presente en las raíces, la transpiración y el contenido de CO<sub>2</sub> atmosférico (producción bruta) no fueron medidos directamente en campo, por lo que se usó el modelo GOTILWA + para hacer estimas indirectas de estas variables. La figura 33., muestra un esquema de las existencias y flujos de carbono en los bosques de *Polylepis reticulata* del P.N.C.

**Figura 33.** Visión sintética de las existencias y flujos de carbono en *P. reticulata*. \* Estimaciones indirectas usando el software GOTILWA +.



Se puede observar que del carbono fijado en la producción bruta, los procesos de respiración de los tejidos vivos consumen, y retornan a la atmósfera el 61 por ciento, es decir 403, 27 gC·m<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup> con lo que la producción neta resultante es de 256 g C·m<sup>-2</sup>·año<sup>-1</sup>. Este carbono neto fijado se distribuye de tal modo que el mantenimiento y renovación de las hojas requiere una asignación de 193 g C·m<sup>-2</sup>·año<sup>-1</sup>, mientras que a los tejidos leñosos tan sólo se asignan 46 g C·m<sup>-2</sup>·año<sup>-1</sup>. Dado que no se ha analizado con detalle la biomasa subterránea en el campo y que, por tanto se carece de datos fiables, la estimación de 16 g C·m<sup>-2</sup>·año<sup>-1</sup> debe considerarse con suma precaución. Además, se puede visualizar que *Polylepis reticulata* destina aproximadamente el 70% del carbono fijado a la formación y mantenimiento de las hojas.



Si se compara el carbono asignado anualmente a los troncos y ramas con el carbono presente en los tejidos de ramas y troncos se obtiene un cociente P/B de 0.0097 cuyo valor inverso nos da una idea de la edad media de estos árboles de 103 años. Con el proceso de fotosíntesis y transpiración, *Polylepis reticulata* consume mucha agua, ya que por cada mol de carbono absorbido se consumen aproximadamente 280 moles de agua; sin embargo es importante resaltar que este recurso no es un limitante en el P.N.C.



## CAPÍTULO 5

### 5. DISCUSIÓN

#### 5.1 Densidad, diámetro a la altura del pecho (DAP) y condiciones de autoaclareo

La densidad de las masas forestales estudiadas y analizadas en el presente trabajo, varían de una parcela a otra, se atribuye que esta característica está relacionada con la edad de cada masa forestal. Independientemente del bosque que se trate, por condiciones de competencia naturales, el número de árboles por unidad de superficie se reduce con el transcurso del tiempo (Gracia, s.f.), alcanzando la madurez solo los individuos más fuertes. Aunque se desconoce el tiempo de existencia de estos bosques, es posible deducir por simple observación las masas maduras de las precoces. Las unidades experimentales 1 y 6 tienen los valores más altos de densidad comparados con las demás parcelas y con cifras reportadas por otros estudios. Así, Fehse *et al.*, (2002), Calderon y Lozada (2010), Pérez y Díaz (2010) encontraron densidades de 4370, 1000 y 1585 arb/ha respectivamente para bosques andinos de diferentes especies, sin embargo estos valores son más comparables con la abundancia de las parcelas 2, 3, 4 y 5.

Los valores bajos del DAP medio de las parcelas 1, 6 se debe a la cantidad de árboles existentes en la superficie de muestreo, por lo general son árboles jóvenes que están empezando a competir por recursos, con la consecuencia de ir eliminándose entre ellos durante su crecimiento, ya que el espacio que los alberga de pequeños no será suficiente para sostenerlos en su madurez (Gracia, s.f.). Las diferencias en los rasgos estructurales de las diferentes parcelas, nos indican que nos encontramos ante rodales que han experimentado una historia bastante diferente a pesar de la proximidad entre



las mismas. Un análisis de la distribución de las clases diamétricas mediante un análisis de la *t* de Student, corroboró este rasgo...ver figura 23...

Como se pudo apreciar en párrafos anteriores, las variables DAP y densidad están estrechamente relacionadas y permitieron conocer las condiciones de autotala de los bosques estudiados. Observando el gráfico de la ley de Yoda...ver figura 24, capítulo 4... se asumió la parcela 4 como el límite del autoaclareo que es imposible de superar, por estar por encima de todas las demás parcelas; pero este hecho fue corroborado en las visitas de campo, donde se valoraron características que pueden corresponder a este proceso natural. En todas las unidades experimentales se percibieron condiciones de competencia intraespecífica, reflejado en la mortalidad de individuos, marcada en algunas parcelas más que en otras.

## 5.2 Tasas de crecimiento

Los incrementos reportados para la especie *Polylepis reticulata* son muy bajos, creciendo a ritmos entre 0.04 y 0.55 mm/año para individuos con DAP grande y pequeño respectivamente. Esta tendencia resulta perfectamente normal si atendemos a las relaciones geométricas que rigen la estructura de los árboles. En los árboles de mayor diámetro, el nuevo anillo que puede formarse cada año es, a igual cantidad de madera formada, de menor espesor. Sin embargo, Duchicela (2011) encontró para la misma especie una tasa de crecimiento de 0.099 mm/año, valores que son pequeños comparados con tasas de crecimiento de bosques a menores altitudes (Lieberman, Lieberman, Hartshorn, & Peralta, 2009; Longman & Jenik, 1974).

Aunque en el presente trabajo, no existe una buena correlación entre las variables DAP e incremento anual, los puntos partícipes de la correlación



mantienen una tendencia lineal negativa, lo que hace que la ecuación obtenida del gráfico sea útil para la estimación de las tasas de crecimiento de esta especie.

La alta dispersión de los puntos puede deberse a varias situaciones, una podría ser el pequeño periodo de muestreo, ya que el uso de dendrómetros artesanales requiere un tiempo prudente que el árbol toma en adaptarse al instrumento. Aunque las separaciones empezaron a medirse desde marzo, los valores fueron considerados 2 o 3 meses después, contando con información de pocos meses, que no es tan significativa para un análisis de este tipo. El tiempo de recolección de datos estuvo determinado en 10 meses, no obstante por inconvenientes presentados con el uso de los dendrómetros artesanales, se redujo la recopilación de información a 5 meses.

Otro factor que pudo haber influido en la baja correlación de las variables relacionadas, es el tipo de dendrómetro que se utilizó, este fue fabricado por un artesano de la localidad, por lo que no contaba con una escala graduada en mm, ni con un rango de precisión en la toma de medidas, contrario a lo empleado por Duchicela (2011). Sin embargo, a pesar de las dificultades presentadas, se logró realizar las mediciones y para fines de cálculo se consideraron los datos más confiables de todo el periodo de muestreo.

El registro de los dendrómetros electrónicos sirvió de base de comparación para los artesanales. Además, a pesar de que solo se instalaron 2, fueron fructíferos al momento de mostrar el crecimiento de dos de los árboles de la especie *Polylepis reticulata* en el P.N.C. En los primeros meses de registro de datos, las gráficas arrojadas por estos equipos mostraron una relación dependiente entre el incremento radial y la temperatura, se observaba crecimiento, pero no del tipo lineal, acontecían ascensos y descensos en función de la temperatura, cuando la temperatura bajaba, se producía incremento y viceversa. La explicación de este suceso reside en el proceso de transpiración, cuando la temperatura aumenta, los árboles eliminan agua de su



estructura por medio de las hojas y pierden medidas en su diámetro como consecuencia de la pérdida de agua por transpiración; por el contrario cuando las temperaturas son muy bajas, en el P.N.C., por debajo de los 0 °C, la transpiración es mínima y el incremento del DAP es debido al agua acumulada en el interior del árbol.

El crecimiento de los árboles está estrechamente relacionada con los patrones de precipitación (Palmer & Ogden, 1983), no obstante, en el P.N.C., no fue un limitante, ya que durante todo el periodo de estudio los patrones de lluvia permanecieron constantes. La disponibilidad de agua es fundamental durante el crecimiento arbóreo (Larcher, 1995), sin embargo este recurso no fue escaso en ninguna de las parcelas.

### 5.3 Contenido de humedad en ramas y hojas

El contenido de humedad en la madera y en las hojas es similar entre parcelas, suscitándose una pequeña variación entre unidades de muestreo, otorgando está pequeña diferencia a las características de cada sitio, que sin lugar a dudas están influenciadas por la humedad disponible en el suelo, que aunque no es escasa, puede variar en función de las características topográficas del lugar (pendiente). Errores en la metodología usada (recolección de muestras, pesaje) también podían haber inferido en los resultados finales del contenido de humedad.

Los valores encontrados para este estudio son cercanos al 50 %, lo que es de esperarse, ya que para la misma especie Calderón y Lozada (2010) hallaron valores entre el 53-60 %, el 49% fue hallado para *Pinus patula Schl. et Cham* por Franco *et al.*, (2007).



#### 5.4 Ecuación alométrica desarrollada para la estimación de la biomasa aérea de *Polylepis reticulata*

El DAP como variable independiente fue un buen predictor de la biomasa aérea de los bosques estudiados, ya que las ecuaciones alométricas obtenidas por rama y parcela dieron  $r^2$  cercanos a la unidad, solo al relacionar el peso seco de las ramas y DAP. Aunque varios estudios dicen encontrar una buena predicción de la biomasa cuando se usan simultáneamente las variables diámetro y altura, en la mayoría de los casos con solo emplear el DAP también se logra una buena estimación (Grier *et al.*, 1977; Brown, 2001 y Acosta *et al.*, 2002). Así Acosta *et al.*, (2002), Díaz *et al.*, (2007), Figueroa (2001), Gayoso *et al.*, (2002) y Schott (2004) usaron ecuaciones alométricas del tipo  $Y = b * X$ , logrando satisfactorias estimaciones de la biomasa aérea.

La biomasa aérea encontrada para *Polylepis reticulata* en este estudio fue de 102.55 Mg/ha, dando los valores más altos para las parcelas 4 y 5 y los más bajos para las unidades 1, 2, 3 y 6. Evidentemente este hecho diferencial de la biomasa entre parcelas está relacionado con el tamaño y abundancia de los individuos, ya que pueden darse solamente dos casos: 1) varios árboles de pequeño tamaño o 2) pocos árboles de gran tamaño (Gracia, s.f.), y como la biomasa fue calculada en función del DAP es lógico explicar porque unas parcelas tienen más biomasa que otras.

El valor de biomasa aérea de 102.55 Mg/ha reportado por la presente investigación, es comparable a lo encontrado para *Polylepis incana* (perteneciente al mismo género) por Fehse *et al.*, (2002) en los Andes ecuatorianos y Vásquez *et al.*, (2014) en los andes peruanos, con valores de 366 Mg/ha y 76 Mg/ha respectivamente. Sin embargo dicho valor no es comparable con lo hallado por Calderón y Lozada (2010), quienes obtuvieron para la especie *Polylepis reticulata* una biomasa de 18.36 Mg/ha, empleando





una densidad de 1000 ind/ha. El contraste significativo reside en la cantidad de individuos presentes (densidad) y en la edad de los árboles muestreados, situación que obedece a las condiciones del área de estudio. Aunque no se conozca la edad exacta de los individuos muestreados en el P.N.C., se puede deducir a partir del DAP y las observaciones directas que se trata de árboles maduros, suscitándose lo contrario en el estudio mencionado, ya que los bosques analizados corresponden a plántulas de edades comprendidas entre los 2 y 8 años de edad.

### **5.5 Existencias y flujos de carbono en los bosques de *Polylepis reticulata***

Las entradas y salidas de carbono por fotosíntesis y respiración respectivamente en estas masas forestales, ayudan a comprender la dinámica de esta especie, reflejada principalmente en las bajas tasas de crecimiento que se han registrado. Cuando los flujos de carbono están balanceados, el carbono neto asimilado y el carbono disipado por descomposición suele equilibrarse.

Si la entrada es mayor que la salida, se produce crecimiento, ya que los individuos de un determinado bosque aprovechan dicha asimilación para la formación de compuestos que son los que permiten el crecimiento y desarrollo de un rodal. Sin embargo cuando se da un exceso de respiración en relación con la tasa de fotosíntesis, la supervivencia de los individuos puede verse enormemente afectada (Gracia *et al.*, 2015).

Como pudo observarse en los bosques de *Polylepis reticulata*, existe un escaso balance de carbono entre las entradas (fotosíntesis) y salidas (respiración), por lo que su supervivencia puede verse afectada con los cambios del clima que ya son observables en la actualidad. *Polylepis* al retornar más de la mitad del carbono fijado en la fotosíntesis, dispone de una cantidad pequeña para



producción de compuestos, estando el mayor porcentaje del carbono destinado a la producción y mantenimiento de las hojas, quedando una fracción baja para la formación de madera, lo que hace que esta situación se vea reflejada en un lento crecimiento de la especie en el P.N.C.



## CAPÍTULO 6

### 6. CONCLUSIONES

La densidad promedio encontrada para *Polylepis reticulata* fue de 4025 árboles/ha, similar a la densidad de 3700 árboles/ha reportada por Fehse et al., (2002) para la misma especie, lo cual es de esperarse, ya que se trata de bosques en áreas de conservación. El DAP medio fue de 13,05 cm y el área basal media de 53.86 m<sup>2</sup>/ha, indicando que la mayoría de los individuos estudiados han experimentado cierto grado de madurez. Las condiciones de autoaclareo son observables en tres de las seis unidades de muestreo, lo que evidentemente se traduce en una reducción de la densidad.

Los incrementos anuales encontrados para esta especie son relativamente bajos, con valores entre 0.04 y 0.55 mm/año, lo que posiblemente está relacionado con el escaso balance de carbono, ya que se encontró que el 75% del carbono absorbido está destinado a la producción y mantenimiento de las hojas, quedando solo un 19 % para formación de madera. Las condiciones climáticas propias del área de estudio, evidentemente también influyen en el bajo crecimiento, ya que por las bajas temperaturas es muy probable que los meristemos de crecimiento permanezcan inactivos (Gracia *et al*, 2015).

Todas las mediciones y análisis realizados muestran que *Polylepis reticulata*, creciendo a ritmos demasiado lentos, posiblemente esté cerca del desequilibrio, pudiendo verse amenazada durante las próximas décadas. Dependiendo de cómo se altere el balance entre los flujos de carbono con la influencia más pronunciada de los cambios presentes y futuros en el sistema



climático, *Polylepis* podría pasar de ser un sumidero de carbono a convertirse en una fuente neta de carbono, aunque podría suscitarse lo contrario, quedando lo afirmado como una hipótesis, que habría que corroborar con análisis detallados posteriores.

La ecuación alométrica calculada para la estimación de la biomasa aérea es altamente confiable, ya que el valor del  $r^2$  para todas las ecuaciones es superior a 0.80, lo cual muestra alta dependencia entre las variables analizadas en los gráficos de correlación, lo que quiere decir que puede ser usada para estimaciones de este componente restringido solo para *Polylepis reticulata*, debido a que la ecuación fue desarrollada bajo las características propias de la especie.

Los valores de biomasa aérea varían entre 61.49 y 173.39 Mg/ha, siendo el valor medio 102.55 Mg/ha, con una producción anual de 1.11 Mg/ha; la biomasa foliar entre 4.91 y 11.67 Mg/ha, con un valor promedio de 7.49 Mg/ha. Sus contenidos de carbono corresponden al 50 % del peso seco, es decir son la mitad de los valores de biomasa. Aunque la biomasa de hojas es solo una fracción de la biomasa aérea, requiere el mayor contenido de carbono para la formación y mantenimiento de las hojas.

La presente investigación ha permitido conocer el estado actual de los rodales de la especie *Polylepis reticulata*, preponderante en el P.N.C. Los escasos estudios llevados a cabo para esta especie, hacen que la información obtenida en este trabajo sea una de las pocas realizadas en el país, con lo que se dispone de las bases suficientes al momento de manejar, proteger y conservar este ecosistema.



Las variables que han sido determinadas y analizadas a lo largo de todo el periodo de muestreo, brindan información valiosa sobre la estructura de los árboles como individuos y de las masas forestales en conjunto, información que posteriormente podrá ser utilizada para analizar la evolución de estos bosques frente a los cambios del clima que ya son observables, mediante el empleo del modelo GOTILWA +, que ha sido creado para tal fin.

Frente a este indudable cambio climático, resulta imprescindible realizar estudios ecofisiológicos más detallados para comprender mejor las respuestas de *Polylepis* a los cambios ambientales. La información obtenida en el presente trabajo, podrá ser utilizada como información de entrada para modelización de escenarios de cambio climático con el modelo GOTILWA +, el mismo que permitirá saber cómo responderá *Polylepis* en los próximos años y en función de esto brindará la posibilidad de asegurar un buen futuro para esta especie tan vulnerable e importante en los ecosistemas altoandinos.



## CAPÍTULO 7

### 7. RECOMENDACIONES

Se recomienda analizar los patrones de crecimiento de *Polylepis reticulata* en periodos de tiempo prolongados, para así conocer con mayor profundidad los patrones de crecimiento de esta especie. Además se deberían determinar variables que pueden estar relacionadas con este proceso, por ejemplo la disponibilidad de recursos.

Se debería contar con al menos un dendrómetro electrónico por bosque de estudio, disponiendo así de una base de comparación para los instrumentos manuales (dendrómetros artesanales). Dejarlos instalados por varios años sería una buena opción para observar su evolución y detectar algún cambio que pudiera presentarse.

En proyectos posteriores se podría incluir la determinación y análisis de la biomasa de subterránea y del contenido de materia orgánica en el suelo, puesto que este último actúa como el mayor sumidero de carbono de un bosque, a partir de métodos y técnicas que no afecten la conservación del P.N.C.

Aunque los árboles constituyen la vegetación predominante en un bosque, se sugiere llevar a cabo estudios que tengan como objetivo determinar y analizar los flujos de carbono de toda la vegetación presente, para disponer de una visión de las existencias y flujos de todo el conjunto.



Sería importante conocer el estado actual de las masas forestales de otras especies del mismo género viviendo a grandes altitudes, por su vulnerabilidad al cambio climático, para contar con una base de datos de todo el conjunto de especies del género. Sin dejar de lado los bosques de otros pisos altitudinales.

Ya que el modelo GOTILWA + ha sido creado para simular la evolución de los distintos ecosistemas forestales bajo condiciones cambiantes del clima, sería recomendable promover la investigación en el uso de esta herramienta de gestión en los diferentes bosques del país.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acosta, M., Vargas, J., Velázquez, A., & Etchevers, J. (2002). Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca, México. *Agrociencia*.

Barranco, J. (s.f.). *Captura de carbono retrospectivo, actual y potencial en el área natural protegida estatal Nahuatlaca-Matlazinca en el estado de México*. Universidad Autónoma Chapingo, México

Barros, V. (2006). *Cambio climático global* (2nd ed., p. 174). Buenos Aires, Argentina: Libros del Zorzal.

Bastienne, S. (2001). Estimación de la biomasa y carbono en bosques del tipo forestal siempreverde. En *Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales 18 al 20 de Octubre del 2001 Valdivia* (pp. 1–13).

Benjamín, J., & Masera, O. (2001). Captura de carbono ante el cambio climático. *Madera Y Bosques*, 7, 3–12.

Botkin, D. (1993). *Forest Dynamics: An Ecological Model*. Oxford University Press.

Brown, S. (1997). *Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests* (p. 55). Rome.

Calder, I. (2007). Forests and water – Ensuring forests benefits outweigh water costs. *Ecology and Management* 251:110-120

Calderón, M., & Lozada, V. (2010). *Determinación de biomasa y contenido de carbono en plantaciones forestales de Polylepis incana y Polylepis reticulata*. Escuela Politécnica Nacional.





Carey, E., Brown, S., Gillespie, A., & Lugo, A. (1994). Tree mortality in mature lowland tropical moist and tropical lower montane moist forests of Venezuela. *Biotropica*, 255-265.

Centro de Hidrología y Clima del Departamento de Recursos Hídricos y Ciencias Ambientales. (2014) "Datos del clima 2012-2014". Cuenca

Constante, D. (2013). *Caracterización morfológica e inventario de los árboles y arbustos existentes en el bosque nativo de yagual en el sector Tundapamba, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar*. Universidad Estatal de Bolívar.

Dauber, E., Terán, J., & Guzmán, R. (1992). Estimaciones de biomasa y carbono en bosques naturales de Bolivia. *Revista Forestal Iberoamericana*, 1, 1–10.

Díaz, R., Acosta, M., Carrillo, F., Buendía, E., Flores, E., & Etchevers, J. (2007). Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Pinus patula Schl . et Cham*. *Madera Y Bosques*, 13(1), 25–34.

Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Cuenca. (2014). Recuperado en Octubre 22, 2014, de [http://www.etapa.net.ec/PNC/PNC\\_biocul\\_eco\\_veg.aspx](http://www.etapa.net.ec/PNC/PNC_biocul_eco_veg.aspx)

European Commission (2009). White Paper on “Adapting to climate change: towards a European framework for action”. European Commission COM 147, Brussels, Belgium.

Fehse, J., Hofstede, R., Aguirre, N., Paladines, C., Kooijman, A., & Sevink, J. (2002). High altitude tropical secondary forests: a competitive carbon sink? *Forest Ecology and Management*, 163(1-3), 9–25.

Figueroa, C. (2001). *Comparación de la concentración de carbono en diferentes tipos de vegetación en la Sierra Norte de Oaxaca*. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo.



Fjeldsa, J., Kessler, M. (1996) Conserving the biological diversity of Polylepis forests of the highlands of Peru and Bolivia: a contribution to sustainable natural resource management in the Andes, Copenhagen. Fjeldsa, J. (2002). Polylepis forests—vestiges of a vanishing ecosystem in the Andes. *Ecotropica* 8:111–123.

Fontes, L., Bontemps, J., Bugmann, H., Van Oijen, M., Gracia, C., Kramer, K., & Skovsgaard, J. (2010). Models for supporting forest management in a changing environment. *Forest Systems*, 3(4), 8-29.

Fragoso, L. (2003). *Estimación del contenido y captura de carbono en biomasa aérea del predio "Cerro Grande" municipio de Tancítaro Michoacán*. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Gayoso, J., Guerra, J., & Alarcón, D. (2002). *Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques de Chile y promoción en el mercado mundial*. Universidad Austral de Chile.

Gareca, E., Fernández, M., & Stanton, S. (2010). Dendrochronological investigation of the high Andean tree species *Polylepis besseri* and implications for management and conservation. *Biodiversity and Conservation*, 19(7), 1839–1851.

Garzuglia, M., & Saket, M. (2003). *Wood volume and woody biomass*. Food and Agricultural Organization of the United Nations. Roma. 30 p.

Gracia, C. (s.f.). Interacciones que dependen de la densidad de la masa: Mortalidad y autoaclareo. En *Ecología Forestal: Estructura, Funcionamiento y Producción de las masas forestales* (pp. 275–287).

Gracia, C (2014). Selección del Tamaño de la muestra en bosques. Cuenca



Gracia, C; Studholme, A, Carabajo, A; Pacheco, K; Pinos, J; Hampel, H & Vázquez, R. (2015). Tropical treeline woodland: How will *Polylepis reticulata* fair against climate change? (En proceso). Está previsto su envío a la revista *Forest Ecology and Management*

Grier, C., & Logan, R. (1978). Old growth Douglas-fir communities of a western Oregon watershed: biomass distribution and production budgets. *Ecol. Monogr.* 47(4):373-400.

Harrison, P., Holman, I., Cojocar, G., Kok, K., Kontogianni, A., Metzger, M., & Gramberger, M. (2013). Combining qualitative and quantitative understanding for exploring cross-sectoral climate change impacts, adaptation and vulnerability in Europe. *Regional Environmental Change*, 13(4), 761-780.

Hernández, L., & Castellanos, H. (2006). Crecimiento diamétrico arbóreo en bosques de Sierra de Lema, Guayana Venezolana: Primeras evaluaciones.

Herrera, D., Lucatero, B. (2003). *Inventario de carbono capturado actual en el ejido Las Casitas municipio de Izúcar de Matamoros, Puebla, México*. Universidad Autónoma Chapingo.

Hoch, G., & Körner, C. (2005). Growth, demography and carbon relations of *Polylepis* trees at the world's highest treeline. *Functional Ecology* 19: 941-951.

Husch, B., Beers, T. W., & Kershaw, J. A. (2003). *Forest Mensuration* (4th ed., p. 456). Canada: John Wiley & Sons.

IPCC. (2013). *IPCC 2013: "Resumen para responsables de políticas. En: Cambio climático 2013: Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático"* (p. 34).



Keenan, T., Garcia, R., Sabate, S., & Gracia, C. (2007). Process based forest modelling: a thorough validation and future prospects for Mediterranean Forests in a changing world. En *II Reunión sobre aspectos prácticos de la modelización forestal* (Vol. 92, pp. 81–92).

Kessler, M. (2002). The “Polylepis problem”: where do we stand. *Ecotropica*, 8(2), 97-110.

Kessler, M. (2006). *Botánica Económica de los Andés Centrales*. (M. M, O. B, K. L, B. F, & B. H, Eds.) (pp. 111–117).

Körner, Ch. (1999). Alpine Plant Life: functional plant ecology of high mountain ecosystems. *Springer. Berlin, Heidelberg, Nueva York*.

Krieger, D. (2001). The economic value of forest ecosystem services: a review. *Wilderness Society. Washington, DC. USA*.

Larcher, W. (1995). Physiological Plant Ecology. Third Edition. *Springer. Germany*.

Lieberman, D., Lieberman, M., Hartshorn, G., & Peralta, R. (2009). Growth rates and age-size relationships of tropical wet forest trees in Costa Rica. *Journal of Tropical Ecology*, 1(02), 97.

Longman, K. A., & Jenik, J. (1974). *Tropical forest and its environment*. (p. 196). Longman Group Ltd.

Manokaran, N., & Swaine, M. D. (1994). *Population Dynamics of Trees in Dipterocarp Forests of Peninsular Malaysia* (p. 173). Forest Research Institute Malaysia.

Mendoza, W., & Cano, A. (2011). Diversidad del género *Polylepis* ( Rosaceae , Sanguisorbeae ) en los Andes peruanos. *Revista Peruana de Biología*, 18(2), 197–200.



Montès, N., Gauquelin, T., Badri, W., Bertaudière, V., & Zaoui, E. H. (2000). A non-destructive method for estimating above-ground forest biomass in threatened woodlands. *Forest Ecology and Management*, 130(1-3), 37–46.

Mora, E., Ramirez, H., & Torres, A. (2009). Análisis de las tasas de crecimiento diametral por grupos funcionales de especies arbóreas en un bosque tropical semi-decídúo de Venezuela. *Revista Forestal Venezolana*, 53(1), 23–31.

Muller, B., Rodríguez, R., & Gajardo, P. (2013). Desarrollo de una guía de manejo de la densidad en bosques de segundo crecimiento de roble (*Nothofagus obliqua*) en la región del Biobío. *Bosque*, 34(2), 17–18.

Nadal, D., Sabaté, S., & Gracia, C. (2013). GOTILWA+: un modelo de procesos que evalúa efectos del cambio climático en los bosques y explora alternativas de gestión para su mitigación. *REVISTA CIENTÍFICA DE ECOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE*, 22(3), 29–36.

Nadal-Sala, D., Sabaté, S., & Gracia, C. (2014). GOTILWA + : una herramienta para optimizar la gestión forestal adaptada al cambio climático. *Ambienta*, 106–120.

NOAA. (2014). National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Recuperado en Enero 06, 2015, de <http://www.noaa.gov/>

Palmer, J., & Ogden, J. (1983). A dendrometer band study of the seasonal pattern of radial increment in kauri ( *Agathis australis* ). *New Zealand Journal of Botany*, 21(2), 121–125. doi:10.1080/0028825X.1983.10428535

Pérez de Paz, J. (2004). Rosaceae-Sanguisorbeae de Macaronesia: Géneros *Marcetella*, *Bencomia* y *Dendriopoterium*, palinología, biogeografía, sistemas sexuales y filogenia. *Botánica Macaronesica*, 126, 95–126.



Pérez, M., & Díaz, J. (2010). *Estimación del carbono contenido en la biomasa forestal aérea de dos bosques andinos en los Departamentos de Santander y Cundinamarca*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Pinos, J. (2015). *Desfronde, Descomposició y Renovació foliar en los rodales de Polylepis reticulata del Parque Nacional Cajas (En proceso)*. Universidad de Cuenca.

Riofrío, J., Herrero de Aza, C., Grijalva, J., & Bravo, F. (2013). Modelos para estimar la biomasa de especies forestales en sistemas agroforestales de la ecorregión andina del Ecuador. In *6° Congreso Forestal Español* (pp. 1–13). Quito.

Seidl, R. et al., 2014. Increasing forest disturbances in Europe and their impact on carbon storage. *Nature Climate Change*, 4, pp.806–810. Available at: <http://www.nature.com/doifinder/10.1038/nclimate2318.33>

Segura, M., & Kanninen, M. (2005). Allometric Models for Tree Volume and Total Aboveground Biomass in a Tropical Humid Forest in Costa Rica 1. *BIOTRÓPICA*, 37(1), 2–8.

Simpson, B. (1979). *A revision of the genus Polylepis (Rosaceae: Sanguisorbeae)*. *Smithsonian contributions to botany* (p. iii, 62 p.). Washington: Smithsonian Institution Press.

Schott, D. (s.f.). *Determinación de los almacenes de carbono en sistemas de vegetación permanentes (forestal, café y acahual) en la Sierra Norte de Oaxaca*. Universidad Autónoma Chapingo.

Turnpenny, J., Haxeltine, A., & O'Riordan, T. (2004). A scoping study of user needs for integrated assessment of climate change in the UK context: Part 1 of the development of an interactive integrated assessment process. *Integrated Assessment*, 4(4), 283-300.



Ulloa, C., Álvarez, S., Jorgensen, P., & Minga, D. (s.f.). *Guía de 100 Plantas silvestres del páramo del Parque Nacional Cajas* (pp. 7–88). Cuenca.

Vásquez, E., Ladd, B., & Borchard, N. (2014). Carbon storage in a high-altitude *Polylepis* woodland in the Peruvian Andes. *Alpine Botany*, 124(1), 71–75.

Shinozaki, K. et al., 1964a. A quantitative analysis of a plant form - the pipe model theory I. Basic analyses. *Japanese Journal of Ecology*, 14, pp.97–105. Available at: <http://ci.nii.ac.jp/naid/110001881211/en/>.

Zamora, J. (2003). *Estimación del contenido de carbono en biomasa aérea en el bosque de pino del ejido “La Majada” municipio de Periban de Ramos, Michoacán*. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Michoacán.

Zianis, D., & Mencuccini, M. (2004). On simplifying allometric analyses of forest biomass. *Forest Ecology and Management*, 187(2-3), 311–332.



## ANEXOS

### ANEXO A

#### DATOS OBTENIDOS EN LOS CENSOS DE CADA PARCELA DE ESTUDIO

##### A.1 Censo de la parcela 1

| Árbol | Perímetro<br>(cm) | DAP<br>(cm) | Corteza<br>(mm) | DAP<br>sin<br>corteza<br>(cm) | Área<br>basal<br>(cm <sup>2</sup> ) |
|-------|-------------------|-------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------------|
| 1     | 17                | 5,41        | 2               | 5,01                          | 23,00                               |
| 2     | 31                | 9,87        | 3               | 9,27                          | 76,47                               |
| 3     | 34,8              | 11,08       | 4               | 10,28                         | 96,37                               |
| 4     | 35,3              | 11,24       | 4               | 10,44                         | 99,16                               |
| 5     | 35                | 11,14       | 5               | 10,14                         | 97,48                               |
| 6     | 61                | 19,42       | 10              | 17,42                         | 296,11                              |
| 7     | 28,5              | 9,07        | 5               | 8,07                          | 64,64                               |
| 8     | 47,7              | 15,18       | 4               | 14,38                         | 181,06                              |
| 9     | 32,5              | 10,35       | 6               | 9,15                          | 84,05                               |
| 10    | 18,3              | 5,83        | 5               | 4,83                          | 26,65                               |
| 11    | 22,7              | 7,23        | 3               | 6,63                          | 41,01                               |
| 12    | 32,8              | 10,44       | 4               | 9,64                          | 85,61                               |
| 13    | 18                | 5,73        | 4               | 4,93                          | 25,78                               |
| 14    | 19,4              | 6,18        | 2               | 5,78                          | 29,95                               |
| 15    | 30,7              | 9,77        | 3               | 9,17                          | 75,00                               |
| 16    | 17,4              | 5,54        | 6               | 4,34                          | 24,09                               |
| 17    | 22,3              | 7,10        | 4               | 6,30                          | 39,57                               |
| 18    | 11,1              | 3,53        | 1               | 3,33                          | 9,80                                |
| 19    | 8,3               | 2,64        | 0               | 2,64                          | 5,48                                |
| 20    | 9,7               | 3,09        | 0               | 3,09                          | 7,49                                |
| 21    | 20,7              | 6,59        | 0               | 6,59                          | 34,10                               |
| 22    | 15,8              | 5,03        | 1               | 4,83                          | 19,87                               |
| 23    | 11,3              | 3,60        | 1               | 3,40                          | 10,16                               |
| 24    | 16,2              | 5,16        | 0               | 5,16                          | 20,88                               |
| 25    | 14,4              | 4,58        | 1               | 4,38                          | 16,50                               |



**A.1 (Continuación)**

| Árbol | Perímetro<br>(cm) | DAP<br>(cm) | Corteza<br>(mm) | DAP sin<br>corteza<br>(cm) | Área basal<br>(cm <sup>2</sup> ) |
|-------|-------------------|-------------|-----------------|----------------------------|----------------------------------|
| 26    | 10                | 3,18        | 2               | 2,78                       | 7,96                             |
| 27    | 23,4              | 7,45        | 0               | 7,45                       | 43,57                            |
| 28    | 16,7              | 5,32        | 0               | 5,32                       | 22,19                            |
| 29    | 22,7              | 7,23        | 0               | 7,23                       | 41,01                            |
| 30    | 34,8              | 11,08       | 3               | 10,48                      | 96,37                            |
| 31    | 21,5              | 6,84        | 0               | 6,84                       | 36,78                            |
| 32    | 12,6              | 4,01        | 1               | 3,81                       | 12,63                            |
| 33    | 7,2               | 2,29        | 0               | 2,29                       | 4,13                             |
| 34    | 26,8              | 8,53        | 0               | 8,53                       | 57,16                            |
| 35    | 16,5              | 5,25        | 0               | 5,25                       | 21,66                            |
| 36    | 16,6              | 5,28        | 0               | 5,28                       | 21,93                            |
| 37    | 25,3              | 8,05        | 1               | 7,85                       | 50,94                            |
| 38    | 14,4              | 4,58        | 1               | 4,38                       | 16,50                            |
| 39    | 26,4              | 8,40        | 3               | 7,80                       | 55,46                            |
| 40    | 15,5              | 4,93        | 0               | 4,93                       | 19,12                            |
| 41    | 28                | 8,91        | 3               | 8,31                       | 62,39                            |
| 42    | 32,8              | 10,44       | 1               | 10,24                      | 85,61                            |
| 43    | 11,2              | 3,57        | 1               | 3,37                       | 9,98                             |
| 44    | 9,6               | 3,06        | 0               | 3,06                       | 7,33                             |
| 45    | 15,5              | 4,93        | 0               | 4,93                       | 19,12                            |
| 46    | 30,5              | 9,71        | 4               | 8,91                       | 74,03                            |
| 47    | 10,6              | 3,37        | 1               | 3,17                       | 8,94                             |
| 48    | 14,6              | 4,65        | 1               | 4,45                       | 16,96                            |
| 49    | 28,7              | 9,14        | 0               | 9,14                       | 65,55                            |
| 50    | 14,8              | 4,71        | 1               | 4,51                       | 17,43                            |
| 51    | 14,9              | 4,74        | 0               | 4,74                       | 17,67                            |
| 52    | 18,5              | 5,89        | 0               | 5,89                       | 27,24                            |
| 53    | 13,8              | 4,39        | 1               | 4,19                       | 15,15                            |
| 54    | 18,8              | 5,98        | 1               | 5,78                       | 28,13                            |
| 55    | 12,5              | 3,98        | 0               | 3,98                       | 12,43                            |
| 56    | 29,5              | 9,39        | 2               | 8,99                       | 69,25                            |
| 57    | 19,2              | 6,11        | 2               | 5,71                       | 29,34                            |

**A.1 (Continuación)**

| Árbol        | Perímetro<br>(cm) | DAP (cm)    | Corteza<br>(mm) | DAP sin<br>corteza<br>(cm) | Área<br>basal<br>(cm <sup>2</sup> ) |
|--------------|-------------------|-------------|-----------------|----------------------------|-------------------------------------|
| 58           | 10                | 3,18        | 0               | 3,18                       | 7,96                                |
| 59           | 19                | 6,05        | 1               | 5,85                       | 28,73                               |
| 60           | 23                | 7,32        | 1               | 7,12                       | 42,10                               |
| 61           | 10,5              | 3,34        | 1               | 3,14                       | 8,77                                |
| 62           | 14                | 4,46        | 0               | 4,46                       | 15,60                               |
| 63           | 40                | 12,73       | 1               | 12,53                      | 127,32                              |
| 64           | 14,7              | 4,68        | 0               | 4,68                       | 17,20                               |
| 65           | 26                | 8,28        | 2               | 7,88                       | 53,79                               |
| 66           | 14,5              | 4,62        | 2               | 4,22                       | 16,73                               |
| 67           | 30,9              | 9,84        | 0               | 9,84                       | 75,98                               |
| 68           | 37,7              | 12,00       | 3               | 11,40                      | 113,10                              |
| 69           | 19                | 6,05        | 2               | 5,65                       | 28,73                               |
| 70           | 17,8              | 5,67        | 1               | 5,47                       | 25,21                               |
| 71           | 33,2              | 10,57       | 2               | 10,17                      | 87,71                               |
| 72           | 19,8              | 6,30        | 1               | 6,10                       | 31,20                               |
| 73           | 13,2              | 4,20        | 0               | 4,20                       | 13,87                               |
| 74           | 42,4              | 13,50       | 1               | 13,30                      | 143,06                              |
| 75           | 25                | 7,96        | 2               | 7,56                       | 49,74                               |
| 76           | 9,2               | 2,93        | 1               | 2,73                       | 6,74                                |
| 77           | 29                | 9,23        | 1               | 9,03                       | 66,92                               |
| 78           | 16,4              | 5,22        | 0               | 5,22                       | 21,40                               |
| 79           | 18,5              | 5,89        | 1               | 5,69                       | 27,24                               |
| 80           | 9,2               | 2,93        | 0               | 2,93                       | 6,74                                |
| 81           | 15,1              | 4,81        | 0               | 4,81                       | 18,14                               |
| 82           | 13,6              | 4,33        | 0               | 4,33                       | 14,72                               |
| 83           | 15,9              | 5,06        | 1               | 4,86                       | 20,12                               |
| 84           | 8,4               | 2,67        | 0               | 2,67                       | 5,61                                |
| 85           | 12,2              | 3,88        | 0               | 3,88                       | 11,84                               |
| 86           | 21,1              | 6,72        | 4               | 5,92                       | 35,43                               |
| 87           | 13,4              | 4,27        | -               | -                          | 14,29                               |
| 88           | 11,1              | 3,53        | -               | -                          | 9,80                                |
| <b>Media</b> |                   | <b>6.62</b> |                 |                            | <b>69.44</b>                        |



## A.2 Censo de la parcela 2

| Árbol        | Perímetro<br>(cm) | DAP<br>(cm)  | Corteza<br>(mm) | DAP sin<br>corteza<br>(cm) | Área<br>basal<br>(cm <sup>2</sup> ) |
|--------------|-------------------|--------------|-----------------|----------------------------|-------------------------------------|
| 1            | 79,9              | 25,43        | 5               | 24,43                      | 508,02                              |
| 2            | 53,3              | 16,97        | 4               | 16,17                      | 226,07                              |
| 3            | 23,4              | 7,45         | 3               | 6,85                       | 43,57                               |
| 4            | 17                | 5,41         | 2               | 5,01                       | 23,00                               |
| 5            | 25,8              | 8,21         | 2               | 7,81                       | 52,97                               |
| 6            | 17,6              | 5,60         | 1               | 5,40                       | 24,65                               |
| 7            | 29,5              | 9,39         | 4               | 8,59                       | 69,25                               |
| 8            | 91                | 28,97        | 5               | 27,97                      | 658,98                              |
| 9            | 77                | 24,51        | 7               | 23,11                      | 471,81                              |
| 10           | 32,6              | 10,38        | 0               | 10,38                      | 84,57                               |
| 11           | 36                | 11,46        | 3               | 10,86                      | 103,13                              |
| 12           | 31,5              | 10,03        | 2               | 9,63                       | 78,96                               |
| 13           | 77,3              | 24,61        | 3               | 24,01                      | 475,50                              |
| <b>Media</b> |                   | <b>14.49</b> |                 |                            | <b>216.96</b>                       |

**A.3 Censo de la parcela 3**

| Árbol        | Perímetro<br>(cm) | DAP<br>(cm)  | Corteza<br>(mm) | DAP sin<br>corteza<br>(cm) | Área<br>basal<br>(cm <sup>2</sup> ) |
|--------------|-------------------|--------------|-----------------|----------------------------|-------------------------------------|
| 1            | 47,5              | 15,12        | 9               | 13,32                      | 179,55                              |
| 2            | 44,6              | 14,2         | 8               | 12,6                       | 158,37                              |
| 3            | 17,5              | 5,57         | 3               | 4,97                       | 24,37                               |
| 4            | 24,3              | 7,73         | 10              | 5,73                       | 46,93                               |
| 5            | 38,1              | 12,13        | 7               | 10,73                      | 115,56                              |
| 6            | 13,3              | 4,23         | 6               | 3,03                       | 14,05                               |
| 7            | 23,8              | 7,58         | 4               | 6,78                       | 45,13                               |
| 8            | 12,4              | 3,95         | 1               | 3,75                       | 12,25                               |
| 9            | 42,1              | 13,4         | 6               | 12,2                       | 141,03                              |
| 10           | 32,6              | 10,38        | 5               | 9,38                       | 84,62                               |
| 11           | 35,3              | 11,24        | 14              | 8,44                       | 99,23                               |
| 12           | 39,9              | 12,7         | 11              | 10,5                       | 126,68                              |
| 13           | 21,6              | 6,88         | 7               | 5,48                       | 37,18                               |
| 14           | 14,2              | 4,52         | 8               | 2,92                       | 16,05                               |
| 15           | 91                | 28,97        | 12              | 26,57                      | 659,15                              |
| 16           | 65,6              | 20,88        | 13              | 18,28                      | 342,41                              |
| 17           | 84,6              | 26,93        | 5               | 25,93                      | 569,59                              |
| 18           | 37                | 11,78        | 12,5            | 9,28                       | 108,99                              |
| 19           | 73,9              | 23,52        | 8               | 21,92                      | 434,47                              |
| 20           | 86,4              | 27,5         | 9               | 25,7                       | 593,96                              |
| <b>Media</b> |                   | <b>13,46</b> |                 |                            | <b>190,48</b>                       |

**A.4 Censo de la parcela 4**

| Árbol        | Perímetro<br>(cm) | DAP<br>(cm)  | Corteza<br>(mm) | DAP sin<br>corteza<br>(cm) | Área basal<br>(cm <sup>2</sup> ) |
|--------------|-------------------|--------------|-----------------|----------------------------|----------------------------------|
| 1            | 45,3              | 14,42        | 4               | 13,62                      | 163,30                           |
| 2            | 71,5              | 22,76        | 3               | 22,16                      | 406,82                           |
| 3            | 87,8              | 27,95        | 3               | 27,35                      | 613,45                           |
| 4            | 64,3              | 20,47        | 1               | 20,27                      | 329,01                           |
| 5            | 68,2              | 21,71        | 3               | 21,11                      | 370,13                           |
| 6            | 52,8              | 16,81        | 0               | 16,81                      | 221,85                           |
| 7            | 71,6              | 22,79        | 3               | 22,19                      | 407,96                           |
| 8            | 55,6              | 17,70        | 1               | 17,50                      | 246,00                           |
| 9            | 60,4              | 19,23        | 3               | 18,63                      | 290,31                           |
| 10           | 52,8              | 16,81        | 3               | 16,21                      | 221,85                           |
| 11           | 41,1              | 13,08        | 1               | 12,88                      | 134,42                           |
| 12           | 85,5              | 27,22        | 3               | 26,62                      | 581,73                           |
| 13           | 123,7             | 39,37        | 2               | 38,97                      | 1217,67                          |
| 14           | 67                | 21,33        | 2               | 20,93                      | 357,22                           |
| 15           | 32                | 10,19        | 2               | 9,79                       | 81,49                            |
| 16           | 111,1             | 35,36        | 1               | 35,16                      | 982,24                           |
| 17           | 102,1             | 32,50        | 2               | 32,10                      | 829,55                           |
| <b>Media</b> |                   | <b>22.33</b> |                 |                            | <b>438.53</b>                    |



## A.5 Censo de la parcela 5

| Árbol        | Perímetro<br>(cm) | DAP<br>(cm)  | Corteza<br>(mm) | DAP sin<br>corteza<br>(cm) | Área basal<br>(cm <sup>2</sup> ) |
|--------------|-------------------|--------------|-----------------|----------------------------|----------------------------------|
| 1            | 32                | 10,19        | 4               | 9,39                       | 81,49                            |
| 2            | 58,5              | 18,62        | 3               | 18,02                      | 272,33                           |
| 3            | 36,7              | 11,68        | 1               | 11,48                      | 107,18                           |
| 4            | 53,5              | 17,03        | 2               | 16,63                      | 227,77                           |
| 5            | 48                | 15,28        | 4               | 14,48                      | 183,35                           |
| 6            | 39,5              | 12,57        | 4               | 11,77                      | 124,16                           |
| 7            | 28                | 8,91         | 2               | 8,51                       | 62,39                            |
| 8            | 57,5              | 18,30        | 1               | 18,10                      | 263,10                           |
| 9            | 55,5              | 17,67        | 5               | 16,67                      | 245,12                           |
| 10           | 37,8              | 12,03        | 1               | 11,83                      | 113,70                           |
| 11           | 24,3              | 7,73         | 2               | 7,33                       | 46,99                            |
| 12           | 38                | 12,10        | 2               | 11,70                      | 114,91                           |
| 13           | 42,1              | 13,40        | 1               | 13,20                      | 141,04                           |
| 14           | 48                | 15,28        | 2               | 14,88                      | 183,35                           |
| 15           | 51,1              | 16,27        | 3               | 15,67                      | 207,79                           |
| 16           | 57,3              | 18,24        | 1               | 18,04                      | 261,28                           |
| 17           | 73                | 23,24        | 4               | 22,44                      | 424,07                           |
| 18           | 20,3              | 6,46         | 3               | 5,86                       | 32,79                            |
| 19           | 48                | 15,28        | 5               | 14,28                      | 183,35                           |
| 20           | 46,9              | 14,93        | 5               | 13,93                      | 175,04                           |
| 21           | 47,3              | 15,06        | 1               | 14,86                      | 178,04                           |
| 22           | 51,4              | 16,36        | 3               | 15,76                      | 210,24                           |
| 23           | 72,8              | 23,17        | 4               | 22,37                      | 421,75                           |
| 24           | 94,9              | 30,21        | 4               | 29,41                      | 716,68                           |
| 25           | 30,8              | 9,80         | 1               | 9,60                       | 75,49                            |
| 26           | 51,6              | 16,42        | 5               | 15,42                      | 211,88                           |
| 27           | 39                | 12,41        | 3               | 11,81                      | 121,04                           |
| 28           | 65,9              | 20,98        | 5               | 19,98                      | 345,59                           |
| 29           | 49                | 15,60        | 3               | 15,00                      | 191,07                           |
| 30           | 47,6              | 15,15        | 3               | 14,55                      | 180,30                           |
| 31           | 87,5              | 27,85        | 10              | 25,85                      | 609,27                           |
| <b>Media</b> |                   | <b>15,75</b> |                 |                            | <b>216,53</b>                    |



## A.6 Censo de la parcela 6

| Árbol | Perímetro<br>(cm) | DAP (cm) | Corteza<br>(mm) | DAP sin<br>corteza<br>(cm) | Área basal<br>(cm <sup>2</sup> ) |
|-------|-------------------|----------|-----------------|----------------------------|----------------------------------|
| 1     | 40,5              | 12,89    | 2               | 12,49                      | 130,53                           |
| 2     | 42,2              | 13,43    | 4               | 12,63                      | 141,71                           |
| 3     | 20                | 6,37     | 1               | 6,17                       | 31,83                            |
| 4     | 45,1              | 14,36    | 3               | 13,76                      | 161,86                           |
| 5     | 36,2              | 11,52    | 1               | 11,32                      | 104,28                           |
| 6     | 22,7              | 7,23     | 1               | 7,03                       | 41,01                            |
| 7     | 23,7              | 7,54     | 1               | 7,34                       | 44,70                            |
| 8     | 18,8              | 5,98     | 1               | 5,78                       | 28,13                            |
| 9     | 28,7              | 9,14     | 3               | 8,54                       | 65,55                            |
| 10    | 45,6              | 14,51    | 2               | 14,11                      | 165,47                           |
| 11    | 35,3              | 11,24    | 3               | 10,64                      | 99,16                            |
| 12    | 28,9              | 9,20     | 3               | 8,60                       | 66,46                            |
| 13    | 18,1              | 5,76     | 1               | 5,56                       | 26,07                            |
| 14    | 32,5              | 10,35    | 3               | 9,75                       | 84,05                            |
| 15    | 35,8              | 11,40    | 5               | 10,40                      | 101,99                           |
| 16    | 18,1              | 5,76     | 1               | 5,56                       | 26,07                            |
| 17    | 19,8              | 6,30     | 1               | 6,10                       | 31,20                            |
| 18    | 19,1              | 6,08     | 2               | 5,68                       | 29,03                            |
| 19    | 23,7              | 7,54     | 3               | 6,94                       | 44,70                            |
| 20    | 29,5              | 9,39     | 3               | 8,79                       | 69,25                            |
| 21    | 25,3              | 8,05     | 2               | 7,65                       | 50,94                            |
| 22    | 39                | 12,41    | 4               | 11,61                      | 121,04                           |
| 23    | 26,1              | 8,31     | 4               | 7,51                       | 54,21                            |
| 24    | 19,1              | 6,08     | 3               | 5,48                       | 29,03                            |
| 25    | 38,8              | 12,35    | 3               | 11,75                      | 119,80                           |
| 26    | 25,5              | 8,12     | 3               | 7,52                       | 51,75                            |
| 27    | 27,6              | 8,79     | 2               | 8,39                       | 60,62                            |
| 28    | 19,6              | 6,24     | 2               | 5,84                       | 30,57                            |
| 29    | 19,8              | 6,30     | 3               | 5,70                       | 31,20                            |
| 30    | 26                | 8,28     | 1               | 8,08                       | 53,79                            |



## A.6 (Continuación)

| Árbol        | Perímetro<br>(cm) | DAP (cm)    | Corteza<br>(mm) | DAP sin<br>corteza (cm) | Área basal<br>(cm <sup>2</sup> ) |
|--------------|-------------------|-------------|-----------------|-------------------------|----------------------------------|
| 31           | 23,1              | 7,35        | 1               | 7,15                    | 42,46                            |
| 32           | 20,9              | 6,65        | 1               | 6,45                    | 34,76                            |
| 33           | 48,1              | 15,31       | 5               | 14,31                   | 184,11                           |
| 34           | 25,2              | 8,02        | 2               | 7,62                    | 50,53                            |
| 35           | 29,6              | 9,42        | 2               | 9,02                    | 69,72                            |
| 36           | 20,8              | 6,62        | 1               | 6,42                    | 34,43                            |
| 37           | 23,2              | 7,38        | 4               | 6,58                    | 42,83                            |
| 38           | 13,5              | 4,30        | 1               | 4,10                    | 14,50                            |
| 39           | 30,9              | 9,84        | 5               | 8,84                    | 75,98                            |
| 40           | 34,1              | 10,85       | 3               | 10,25                   | 92,53                            |
| 41           | 36,4              | 11,59       | 2               | 11,19                   | 105,44                           |
| 42           | 21                | 6,68        | 1               | 6,48                    | 35,09                            |
| 43           | 44                | 14,01       | 5               | 13,01                   | 154,06                           |
| 44           | 30,5              | 9,71        | 3               | 9,11                    | 74,03                            |
| 45           | 18,4              | 5,86        | 0               | 5,86                    | 26,94                            |
| 46           | 42,9              | 13,66       | 1               | 13,46                   | 146,46                           |
| 47           | 30,4              | 9,68        | 1               | 9,48                    | 73,54                            |
| 48           | 30,1              | 9,58        | 1               | 9,38                    | 72,10                            |
| 49           | 46,6              | 14,83       | 1               | 14,63                   | 172,81                           |
| 50           | 37,8              | 12,03       | 1               | 11,83                   | 113,70                           |
| 51           | 28,2              | 8,98        | 1               | 8,78                    | 63,28                            |
| 52           | 25,8              | 8,21        | 1               | 8,01                    | 52,97                            |
| 53           | 27,2              | 8,66        | 1               | 8,16                    | 58,87                            |
| 54           | 50,4              | 16,04       | 2,5             | 15,64                   | 202,14                           |
| 55           | 36,5              | 11,62       | 2               | 11,42                   | 106,02                           |
| 56           | 26,4              | 8,40        | 1               | 8,30                    | 55,46                            |
| 57           | 26                | 8,28        | 0,5             | 8,08                    | 53,79                            |
| 58           | 25,5              | 8,12        | 1               | 8,12                    | 51,75                            |
| <b>Media</b> |                   | <b>9,36</b> |                 |                         | <b>74,65</b>                     |





## ANEXO B

### DATOS DE LAS VARIABLES ESTIMADAS

#### B.1 Variables estimadas de la parcela 1

| Árbol | Biomasa<br>aérea<br>estimada<br>(Kg) | Área<br>foliar<br>Estimada<br>(m <sup>2</sup> ) | Biomasa<br>Foliar<br>(g) | Incremento<br>(mm) |
|-------|--------------------------------------|---|--------------------------|--------------------|
| 1     | 3,29                                 | 1,97  | 372                      | 0,4727769          |
| 2     | 13,14                                | 6,87  | 1298                     | 0,4161814          |
| 3     | 17,15                                | 8,71  | 1646                     | 0,4008198          |
| 4     | 17,72                                | 8,97  | 1694                     | 0,3987985          |
| 5     | 17,38                                | 8,81  | 1665                     | 0,4000113          |
| 6     | 62,49                                | 27,31   | 5162                     | 0,2949053          |
| 7     | 10,83                                | 5,78  | 1092                     | 0,4262877          |
| 8     | 35,46                                | 16,57   | 3133                     | 0,3486711          |
| 9     | 14,65                                | 7,57  | 1430                     | 0,4101176          |
| 10    | 3,90                                 | 2,30  | 434                      | 0,4675216          |
| 11    | 6,41                                 | 3,61  | 682                      | 0,4497344          |
| 12    | 14,96                                | 7,71  | 1458                     | 0,4089048          |
| 13    | 3,76                                 | 2,22  | 420                      | 0,4687344          |
| 14    | 4,46                                 | 2,60  | 491                      | 0,4630748          |
| 15    | 12,85                                | 6,73  | 1272                     | 0,4173942          |
| 16    | 3,47                                 | 2,07  | 391                      | 0,4711599          |
| 17    | 6,15                                 | 3,48  | 657                      | 0,4513515          |
| 18    | 1,23                                 | 0,79  | 149                      | 0,4966279          |
| 19    | 0,63                                 | 0,41  | 78                       | 0,5079470          |
| 20    | 0,90                                 | 0,59  | 111                      | 0,5022874          |
| 21    | 5,18                                 | 2,98  | 562                      | 0,4578195          |
| 22    | 2,78                                 | 1,69  | 319                      | 0,4776279          |
| 23    | 1,29                                 | 0,82  | 155                      | 0,4958193          |
| 24    | 2,95                                 | 1,78  | 336                      | 0,4760109          |
| 25    | 2,25                                 | 1,38  | 262                      | 0,4832875          |



## B.1 (Continuación)

| Árbol | Biomasa<br>aérea<br>estimada<br>(Kg) | Área foliar<br>estimada (m2) | Biomasa<br>Foliar (g) | Incremento<br>(mm) |
|-------|--------------------------------------|------------------------------|-----------------------|--------------------|
| 26    | 0,97                                 | 0,63                         | 118                   | 0,5010746          |
| 27    | 6,87                                 | 3,84                         | 726                   | 0,4469047          |
| 28    | 3,16                                 | 1,90                         | 358                   | 0,4739897          |
| 29    | 6,41                                 | 3,61                         | 682                   | 0,4497344          |
| 30    | 17,15                                | 8,71                         | 1646                  | 0,4008198          |
| 31    | 5,66                                 | 3,22                         | 609                   | 0,4545855          |
| 32    | 1,65                                 | 1,04                         | 196                   | 0,4905641          |
| 33    | 0,45                                 | 0,30                         | 56                    | 0,5123937          |
| 34    | 9,40                                 | 5,09                         | 962                   | 0,4331600          |
| 35    | 3,07                                 | 1,85                         | 349                   | 0,4747982          |
| 36    | 3,12                                 | 1,87                         | 354                   | 0,4743939          |
| 37    | 8,23                                 | 4,52                         | 854                   | 0,4392239          |
| 38    | 2,25                                 | 1,38                         | 262                   | 0,4832875          |
| 39    | 9,08                                 | 4,93                         | 932                   | 0,4347771          |
| 40    | 2,66                                 | 1,62                         | 306                   | 0,4788407          |
| 41    | 10,39                                | 5,57                         | 1053                  | 0,4283090          |
| 42    | 14,96                                | 7,71                         | 1458                  | 0,4089048          |
| 43    | 1,26                                 | 0,80                         | 152                   | 0,4962236          |
| 44    | 0,88                                 | 0,57                         | 108                   | 0,5026917          |
| 45    | 2,66                                 | 1,62                         | 306                   | 0,4788407          |
| 46    | 12,66                                | 6,64                         | 1255                  | 0,4182027          |
| 47    | 1,11                                 | 0,71                         | 135                   | 0,4986491          |
| 48    | 2,32                                 | 1,43                         | 269                   | 0,4824790          |
| 49    | 11,00                                | 5,86                         | 1108                  | 0,4254792          |
| 50    | 2,39                                 | 1,47                         | 277                   | 0,4816705          |
| 51    | 2,43                                 | 1,49                         | 281                   | 0,4812662          |
| 52    | 4,00                                 | 2,35                         | 445                   | 0,4667131          |
| 53    | 2,04                                 | 1,26                         | 239                   | 0,4857130          |
| 54    | 4,15                                 | 2,43                         | 460                   | 0,4655003          |
| 55    | 1,62                                 | 1,02                         | 193                   | 0,4909683          |
| 56    | 11,72                                | 6,20                         | 1172                  | 0,4222452          |
| 57    | 4,36                                 | 2,54                         | 481                   | 0,4638833          |

**B.1 (Continuación)**

| Árbol        | Biomasa<br>aérea<br>estimada (Kg) | Área foliar<br>estimada<br>(m2) | Biomasa<br>Foliar (g) | Incremento<br>(mm) |
|--------------|-----------------------------------|---------------------------------|-----------------------|--------------------|
| 58           | 0,97                              | 0,63                            | 118                   | 0,5010746          |
| 59           | 4,25                              | 2,49                            | 470                   | 0,4646918          |
| 60           | 6,61                              | 3,71                            | 700                   | 0,4485217          |
| 61           | 1,09                              | 0,70                            | 132                   | 0,4990534          |
| 62           | 2,11                              | 1,30                            | 246                   | 0,4849045          |
| 63           | 23,64                             | 11,58                           | 2188                  | 0,3797986          |
| 64           | 2,36                              | 1,45                            | 273                   | 0,4820747          |
| 65           | 8,76                              | 4,78                            | 903                   | 0,4363941          |
| 66           | 2,28                              | 1,40                            | 265                   | 0,4828832          |
| 67           | 13,04                             | 6,82                            | 1289                  | 0,4165857          |
| 68           | 20,62                             | 10,26                           | 1939                  | 0,3890964          |
| 69           | 4,25                              | 2,49                            | 470                   | 0,4646918          |
| 70           | 3,66                              | 2,17                            | 410                   | 0,4695429          |
| 71           | 15,39                             | 7,91                            | 1494                  | 0,4072878          |
| 72           | 4,68                              | 2,71                            | 513                   | 0,4614578          |
| 73           | 1,84                              | 1,15                            | 217                   | 0,4881385          |
| 74           | 27,03                             | 13,04                           | 2464                  | 0,3700965          |
| 75           | 8,01                              | 4,41                            | 833                   | 0,4404366          |
| 76           | 0,80                              | 0,52                            | 98                    | 0,5043087          |
| 77           | 11,27                             | 5,99                            | 1132                  | 0,4242665          |
| 78           | 3,03                              | 1,82                            | 345                   | 0,4752024          |
| 79           | 4,00                              | 2,35                            | 445                   | 0,4667131          |
| 80           | 0,80                              | 0,52                            | 98                    | 0,5043087          |
| 81           | 2,51                              | 1,53                            | 289                   | 0,4804577          |
| 82           | 1,97                              | 1,22                            | 231                   | 0,4865215          |
| 83           | 2,82                              | 1,71                            | 323                   | 0,4772237          |
| 84           | 0,65                              | 0,42                            | 80                    | 0,5075427          |
| 85           | 1,53                              | 0,97                            | 183                   | 0,4921811          |
| 86           | 5,42                              | 3,10                            | 585                   | 0,4562025          |
| 87           | 1,90                              | 1,19                            | 224                   | 0,4873300          |
| 88           | 1,23                              | 0,79                            | 149                   | 0,4966279          |
| <b>Media</b> | <b>7,09</b>                       | <b>3,74</b>                     | <b>706,52</b>         |                    |



## B.2 Variables estimadas de la parcela 2

| Árbol        | Biomasa<br>aérea<br>estimada<br>(kg) | Área<br>foliar<br>estimada<br>(m2) | Biomasa<br>foliar<br>(g) | Incremento<br>(mm) |
|--------------|--------------------------------------|------------------------------------|--------------------------|--------------------|
| 1            | 116,37                               | 47,15                              | 8912                     | 0,218501409        |
| 2            | 45,79                                | 20,77                              | 3926                     | 0,326032855        |
| 3            | 6,87                                 | 3,84                               | 726                      | 0,446904668        |
| 4            | 3,29                                 | 1,97                               | 372                      | 0,472776896        |
| 5            | 8,61                                 | 4,70                               | 889                      | 0,437202583        |
| 6            | 3,57                                 | 2,12                               | 400                      | 0,470351374        |
| 7            | 11,72                                | 6,20                               | 1172                     | 0,422245201        |
| 8            | 157,03                               | 61,32                              | 11589                    | 0,173629265        |
| 9            | 106,87                               | 43,76                              | 8270                     | 0,230224762        |
| 10           | 14,76                                | 7,62                               | 1439                     | 0,409713341        |
| 11           | 18,54                                | 9,33                               | 1763                     | 0,39596872         |
| 12           | 13,63                                | 7,10                               | 1341                     | 0,41416013         |
| 13           | 107,83                               | 44,11                              | 8335                     | 0,229012002        |
| <b>Media</b> | <b>47,30</b>                         | <b>20,00</b>                       | <b>3779,80</b>           |                    |

**B.3 Variables estimadas de la parcela 3**

| Árbol        | Biomasa<br>aérea<br>estimada<br>(kg) | Área foliar<br>estimada<br>(m <sup>2</sup> ) | Biomasa<br>Foliar<br>(g) | Incremento<br>(mm) |
|--------------|--------------------------------------|--|--------------------------|--------------------|
| 1            | 35,12                                | 16,43  | 3106                     | 0,349476           |
| 2            | 30,39                                | 14,46  | 2733                     | 0,36116            |
| 3            | 3,52                                 | 2,09   | 395                      | 0,470761           |
| 4            | 7,49                                 | 4,15   | 784                      | 0,443329           |
| 5            | 21,14                                | 10,49  | 1982                     | 0,387449           |
| 6            | 1,87                                 | 1,16   | 220                      | 0,487779           |
| 7            | 7,16                                 | 3,98   | 753                      | 0,445234           |
| 8            | 1,59                                 | 1,00   | 190                      | 0,491335           |
| 9            | 26,59                                | 12,85  | 2429                     | 0,37132            |
| 10           | 14,77                                | 7,62   | 1440                     | 0,409674           |
| 11           | 17,74                                | 8,97   | 1696                     | 0,398752           |
| 12           | 23,50                                | 11,52  | 2177                     | 0,38021            |
| 13           | 5,73                                 | 3,26   | 616                      | 0,454124           |
| 14           | 2,18                                 | 1,34   | 254                      | 0,484096           |
| 15           | 157,08                               | 61,33  | 11592                    | 0,173581           |
| 16           | 73,87                                | 31,64  | 5980                     | 0,276324           |
| 17           | 132,76                               | 52,93  | 10004                    | 0,199489           |
| 18           | 19,76                                | 9,88   | 1867                     | 0,391894           |
| 19           | 97,19                                | 40,26  | 7609                     | 0,242796           |
| 20           | 139,32                               | 55,22  | 10436                    | 0,19225            |
| <b>Media</b> | <b>40,94</b>                         | <b>17,53</b>                                 | <b>3313</b>              |                    |

**B.4 Variables estimadas de la parcela 4**

| Árbol        | Biomasa<br>aérea<br>estimada<br>(Kg) | Área foliar<br>estimada<br>(m <sup>2</sup> ) | Biomasa<br>foliar<br>(g) | Incremento<br>(mm) |
|--------------|--------------------------------------|--|--------------------------|--------------------|
| 1            | 31,48                                | 6,90   | 1304                     | 0,358373139        |
| 2            | 90,10                                | 17,91  | 3385                     | 0,252458708        |
| 3            | 144,60                               | 27,35  | 5170                     | 0,186565378        |
| 4            | 70,55                                | 14,37  | 2716                     | 0,281564964        |
| 5            | 80,80                                | 16,24  | 3069                     | 0,265799075        |
| 6            | 44,81                                | 9,53   | 1801                     | 0,328054123        |
| 7            | 90,39                                | 17,96  | 3395                     | 0,252054454        |
| 8            | 50,47                                | 10,62  | 2006                     | 0,316735023        |
| 9            | 61,08                                | 12,62  | 2385                     | 0,297330853        |
| 10           | 44,81                                | 9,53   | 1801                     | 0,328054123        |
| 11           | 25,16                                | 5,61   | 1061                     | 0,375351789        |
| 12           | 136,02                               | 25,90  | 4895                     | 0,19586321         |
| 13           | 318,52                               | 55,16  | 10425                    | 0,041438352        |
| 14           | 77,57                                | 15,65  | 2959                     | 0,270650118        |
| 15           | 14,14                                | 3,28   | 620                      | 0,412138862        |
| 16           | 248,69                               | 44,30  | 8373                     | 0,0923743          |
| 17           | 204,71                               | 37,27  | 7045                     | 0,12875712         |
| <b>Media</b> | <b>101,99</b>                        | <b>19,42</b>                                 | <b>3671</b>              |                    |



## B.5 Variables estimadas de la parcela 5

| Árbol        | Biomasa<br>aérea<br>estimada (kg) | Área foliar<br>estimada (m <sup>2</sup> ) | Biomasa<br>foliar (g) | Incremento<br>(mm) |
|--------------|-----------------------------------|---|-----------------------|--------------------|
| 1            | 14,14                             | 7,33                                      | 1385,46               | 0,412138862        |
| 2            | 56,75                             | 25,09                                     | 4741,97               | 0,30501167         |
| 3            | 19,38                             | 9,71                                      | 1834,86               | 0,393138945        |
| 4            | 46,19                             | 20,93                                     | 3955,58               | 0,325224348        |
| 5            | 35,98                             | 16,79                                     | 3172,79               | 0,347458293        |
| 6            | 22,96                             | 11,28                                     | 2132,49               | 0,381819846        |
| 7            | 10,39                             | 5,57                                      | 1052,55               | 0,428309004        |
| 8            | 54,54                             | 24,23                                     | 4579,00               | 0,309054206        |
| 9            | 50,27                             | 22,55                                     | 4261,59               | 0,317139277        |
| 10           | 20,75                             | 10,31                                     | 1949,12               | 0,388692156        |
| 11           | 7,50                              | 4,15                                      | 785,18                | 0,443266386        |
| 12           | 21,00                             | 10,42                                     | 1970,27               | 0,387883649        |
| 13           | 26,60                             | 12,85                                     | 2428,86               | 0,371309253        |
| 14           | 35,98                             | 16,79                                     | 3172,79               | 0,347458293        |
| 15           | 41,56                             | 19,07                                     | 3603,41               | 0,334926433        |
| 16           | 54,10                             | 24,06                                     | 4546,74               | 0,309862713        |
| 17           | 94,51                             | 39,29                                     | 7425,14               | 0,246394905        |
| 18           | 4,95                              | 2,86                                      | 539,99                | 0,459436528        |
| 19           | 35,98                             | 16,79                                     | 3172,79               | 0,347458293        |
| 20           | 34,11                             | 16,01                                     | 3026,57               | 0,351905082        |
| 21           | 34,78                             | 16,29                                     | 3079,35               | 0,350288068        |
| 22           | 42,12                             | 19,29                                     | 3646,53               | 0,333713672        |
| 23           | 93,91                             | 39,07                                     | 7384,06               | 0,247203412        |
| 24           | 172,97                            | 66,73                                     | 12612,83              | 0,157863376        |
| 25           | 12,95                             | 6,78                                      | 1280,80               | 0,416989905        |
| 26           | 42,50                             | 19,45                                     | 3675,42               | 0,332905165        |
| 27           | 22,30                             | 10,99                                     | 2077,70               | 0,383841113        |
| 28           | 74,66                             | 31,94                                     | 6036,49               | 0,275096907        |
| 29           | 37,73                             | 17,51                                     | 3308,71               | 0,343415758        |
| 30           | 35,29                             | 16,50                                     | 3119,22               | 0,349075308        |
| 31           | 143,46                            | 56,65                                     | 10707,12              | 0,187778139        |
| <b>Media</b> | <b>45,17</b>                      | <b>19,91</b>                              | <b>3763,40</b>        |                    |

**B.6 Variables estimadas de la parcela 6**

| Árbol | Biomasa<br>aérea<br>estimada (kg) | Área foliar<br>estimada<br>(m2) | Biomasa foliar<br>(g) | Incremento (mm) |
|-------|-----------------------------------|---------------------------------|-----------------------|-----------------|
| 1     | 24,32                             | 11,87                           | 2244,20               | 0,37777731      |
| 2     | 26,74                             | 12,91                           | 2440,64               | 0,370905        |
| 3     | 4,79                              | 2,77                            | 523,44                | 0,460649289     |
| 4     | 31,17                             | 14,79                           | 2794,74               | 0,359181646     |
| 5     | 18,78                             | 9,44                            | 1784,06               | 0,395160213     |
| 6     | 6,41                              | 3,61                            | 681,63                | 0,449734443     |
| 7     | 7,08                              | 3,94                            | 745,50                | 0,445691907     |
| 8     | 4,15                              | 2,43                            | 459,79                | 0,465500332     |
| 9     | 11,00                             | 5,86                            | 1107,52               | 0,42547923      |
| 10    | 31,97                             | 15,12                           | 2858,21               | 0,357160379     |
| 11    | 17,72                             | 8,97                            | 1694,42               | 0,398798495     |
| 12    | 11,18                             | 5,94                            | 1123,48               | 0,424670722     |
| 13    | 3,80                              | 2,25                            | 424,56                | 0,468330106     |
| 14    | 14,65                             | 7,57                            | 1430,28               | 0,410117594     |
| 15    | 18,31                             | 9,23                            | 1743,93               | 0,396777227     |
| 16    | 3,80                              | 2,25                            | 424,56                | 0,468330106     |
| 17    | 4,68                              | 2,71                            | 512,54                | 0,461457796     |
| 18    | 4,31                              | 2,51                            | 475,32                | 0,464287571     |
| 19    | 7,08                              | 3,94                            | 745,50                | 0,445691907     |
| 20    | 11,72                             | 6,20                            | 1172,05               | 0,422245201     |
| 21    | 8,23                              | 4,52                            | 853,60                | 0,43922385      |
| 22    | 22,30                             | 10,99                           | 2077,70               | 0,383841113     |
| 23    | 8,84                              | 4,82                            | 910,38                | 0,435989822     |
| 24    | 4,31                              | 2,51                            | 475,32                | 0,464287571     |
| 25    | 22,04                             | 10,88                           | 2055,99               | 0,38464962      |
| 26    | 8,38                              | 4,59                            | 867,62                | 0,438415343     |
| 27    | 10,05                             | 5,41                            | 1021,77               | 0,429926019     |
| 28    | 4,57                              | 2,65                            | 501,77                | 0,462266303     |
| 29    | 4,68                              | 2,71                            | 512,54                | 0,461457796     |
| 30    | 8,76                              | 4,78                            | 903,18                | 0,436394076     |
| 31    | 6,67                              | 3,74                            | 706,84                | 0,448117429     |



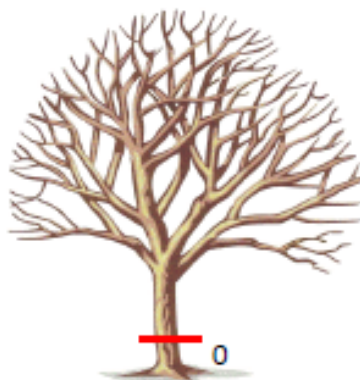
**B.6 (Continuación)**

| Árbol        | Biomasa<br>aérea<br>estimada<br>(kg) | Área foliar<br>estimada<br>(m2) | Biomasa<br>foliar (g) | Incremento<br>(mm) |
|--------------|--------------------------------------|---------------------------------|-----------------------|--------------------|
| 32           | 5,30                                 | 3,04                            | 573,86                | 0,457011007        |
| 33           | 36,15                                | 16,86                           | 3186,26               | 0,34705404         |
| 34           | 8,15                                 | 4,48                            | 846,63                | 0,439628104        |
| 35           | 11,81                                | 6,24                            | 1180,25               | 0,421840948        |
| 36           | 5,24                                 | 3,01                            | 568,15                | 0,45741526         |
| 37           | 6,74                                 | 3,77                            | 713,21                | 0,447713175        |
| 38           | 1,94                                 | 1,21                            | 227,75                | 0,48692577         |
| 39           | 13,04                                | 6,82                            | 1289,37               | 0,416585651        |
| 40           | 16,37                                | 8,35                            | 1578,48               | 0,403649538        |
| 41           | 19,02                                | 9,55                            | 1804,29               | 0,394351706        |
| 42           | 5,36                                 | 3,07                            | 579,61                | 0,456606753        |
| 43           | 29,44                                | 14,06                           | 2657,61               | 0,363628436        |
| 44           | 12,66                                | 6,64                            | 1255,28               | 0,418202666        |
| 45           | 3,95                                 | 2,33                            | 439,49                | 0,467117346        |
| 46           | 27,77                                | 13,35                           | 2523,92               | 0,368075225        |
| 47           | 12,56                                | 6,60                            | 1246,83               | 0,418606919        |
| 48           | 12,28                                | 6,46                            | 1221,65               | 0,41981968         |
| 49           | 33,60                                | 15,81                           | 2987,29               | 0,353117843        |
| 50           | 20,75                                | 10,31                           | 1949,12               | 0,388692156        |
| 51           | 10,57                                | 5,65                            | 1068,11               | 0,427500497        |
| 52           | 8,61                                 | 4,70                            | 888,87                | 0,437202583        |
| 53           | 9,72                                 | 5,25                            | 991,44                | 0,431543033        |
| 54           | 40,26                                | 18,54                           | 3503,78               | 0,337756208        |
| 55           | 19,14                                | 9,60                            | 1814,45               | 0,393947452        |
| 56           | 9,08                                 | 4,93                            | 932,15                | 0,434777061        |
| 57           | 8,76                                 | 4,78                            | 903,18                | 0,436394076        |
| 58           | 8,38                                 | 4,59                            | 867,62                | 0,438415343        |
| <b>Media</b> | <b>13,26</b>                         | <b>6,76</b>                     | <b>1277,10</b>        |                    |

## ESTADILLOS DE CAMPO

## Universitat de Barcelona

**Observations:**

[illegible]

139



## C.2 Estadillo para censos



Universitat de Barcelona

*Polylepis reticulata* Plot number:

Latitude:

Longitude:

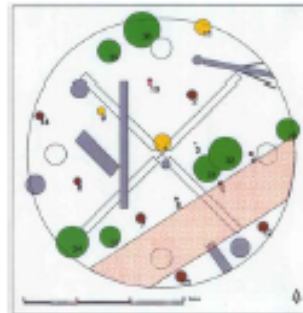
Altitude:

Orientation:

Slope:

Date:

Observations:



| n° | Perimeter<br>(cm) | DBH<br>(cm) | Bark<br>(cm) | Sapwood<br>(cm) | Heartwood<br>(cm) | Dendrometer<br>(mm) | Observations |
|----|-------------------|-------------|--------------|-----------------|-------------------|---------------------|--------------|
| 1  |                   |             |              |                 |                   |                     |              |
| 2  |                   |             |              |                 |                   |                     |              |
| 3  |                   |             |              |                 |                   |                     |              |
| 4  |                   |             |              |                 |                   |                     |              |
| 5  |                   |             |              |                 |                   |                     |              |
| 6  |                   |             |              |                 |                   |                     |              |
| 7  |                   |             |              |                 |                   |                     |              |
| 8  |                   |             |              |                 |                   |                     |              |
| 9  |                   |             |              |                 |                   |                     |              |
| 10 |                   |             |              |                 |                   |                     |              |
| 11 |                   |             |              |                 |                   |                     |              |
| 12 |                   |             |              |                 |                   |                     |              |
| 13 |                   |             |              |                 |                   |                     |              |
| 14 |                   |             |              |                 |                   |                     |              |
| 15 |                   |             |              |                 |                   |                     |              |
| 16 |                   |             |              |                 |                   |                     |              |
| 17 |                   |             |              |                 |                   |                     |              |
| 18 |                   |             |              |                 |                   |                     |              |
| 19 |                   |             |              |                 |                   |                     |              |
| 20 |                   |             |              |                 |                   |                     |              |
| 21 |                   |             |              |                 |                   |                     |              |
| 22 |                   |             |              |                 |                   |                     |              |
| 23 |                   |             |              |                 |                   |                     |              |
| 24 |                   |             |              |                 |                   |                     |              |
| 25 |                   |             |              |                 |                   |                     |              |

Fuente: Gracia, 2014



## ANEXO D

### ESTADILLOS DE LABORATORIO

#### D.1 Ficha de laboratorio para ramas y hojas

| <b>Fecha de recolección de datos en campo:</b><br><b>Fecha de preparación de muestras en laboratorio:</b><br><b>Responsable/s:</b><br><b>Número de parcela:</b><br><b>Número de rama:</b> |                             |                           |                     |                           |
|---|-----------------------------|---------------------------|---------------------|---------------------------|
| <b>Peso específico foliar</b>   |                             |                           |                     |                           |
| <b>Peso fresco 25 discos:</b><br><b>Peso seco 25 discos:</b>  |                             |                           |                     |                           |
| <b>Madera</b>   |                             |                           |                     |                           |
| <b>Peso fresco madera:</b><br><b>Peso seco 1 madera:</b>  |                             |                           |                     |                           |
| <b>Peso seco 2 madera:</b>  |                             |                           |                     |                           |
| <b>Diámetro 1:</b><br><b>Diámetro 2:</b><br><b>Altura 1:</b><br><b>Altura 2:</b>  |                             |                           |                     |                           |
| <b>Hojas</b>  |                             |                           |                     |                           |
| # de muestra  | Peso fresco con bandeja (g) | Peso seco con bandeja (g) | Peso de bandeja (g) | Peso seco sin bandeja (g) |
|   |                             |                           |                     |                           |
|   |                             |                           |                     |                           |
|   |                             |                           |                     |                           |
|   |                             |                           |                     |                           |
|   |                             |                           |                     |                           |
|   |                             |                           |                     |                           |
|   |                             |                           |                     |                           |



## ANEXO E

### REGISTRO FOTOGRÁFICO

**E.1 Cerro Taquiurco  
(Parcela 1)**



**E.2 Parcela 2**



**E.3 Bosque San Luis (Parcelas 5  
y 6)**



**E.4 Parcela 4**



### E.5 Preparación de muestras para secado en la estufa



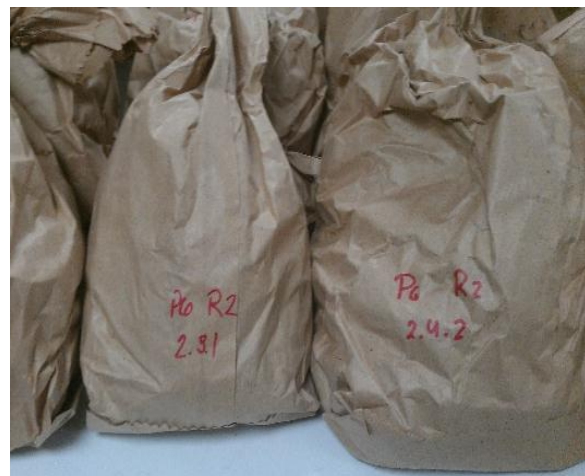
### E.6 Core de un árbol de *Polylepis reticulata*



### E.7 Muestra de madera etiquetada

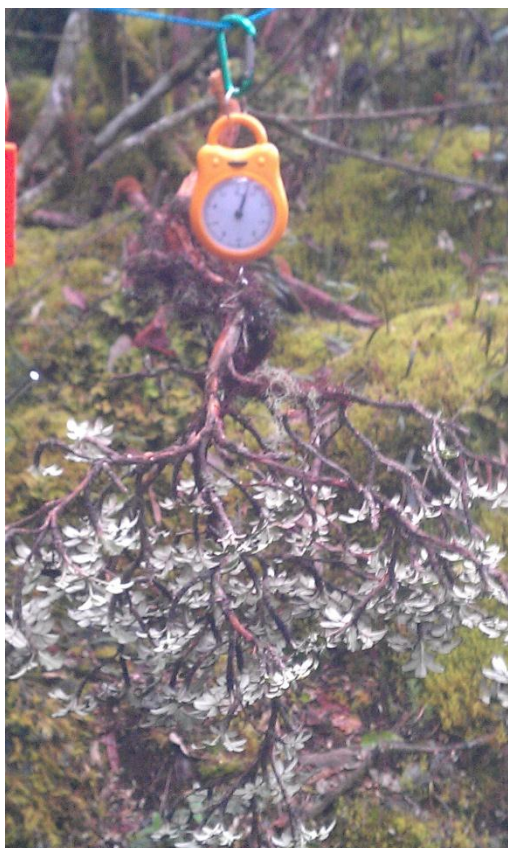


### E.8 Muestras de hojas llevadas al laboratorio





**E.9 Pesaje en fresco de una rama de *Polylepis***



**E.10 Descarga de datos de dendrómetro electrónico**

